Phys. G. 294 m

Grundriß

der

theoretischen

und

Experimental-Physik.

Erster Theil,

enthaltend

die Eigenschaften, die der Materie im Allgemeinen zukommen; die Mechanik; Pneumatik; Akustik; Hydrostatik und Hydraulik,

nebst

einem Bericht über die Entstehung, Vervollkommnung und den gegenwärtigen Stand der Dampfmaschine;

nach

dem Englischen Originale

von

John Millington.

Mit 14 lithographirten Tafeln.

Weimar,

im Verlage des Gr. H. S. privil. Landes-Industrie-Comptoirs.

1825.

1801. b

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Vorwort.

Die Uebersetzung eines Englischen Werks, welches die Physik zum Gegenstande hat, dürfte, bei den trefflichen Deutschen Originalwerken, die wir über diese Wissenschaft besitzen, überflüssig erscheinen. Wenn diese Arbeit jedoch durch den populären Vortrag, die zweckmäßige Zusammenstellung und ansprechende Form des Werks und der dazu gehörigen Figuren nicht schon hinlänglich gerechtfertigt würde, so müßte sie es durch die darin enthaltene bündige Abhandlung über die Dampfmaschine werden. Man findet hier über die Entstehung und allmälige Entwickelung derselben befriedigende Auskunft, und nachdem der Leser mit allen wesentlichen Theilen vollständig bekannt gemacht worden, erhält er eine klare An-

sicht von dem Zusammenwirken des ganzen Appa=rats, die jedem Gebildeten, unabhängig von der sinnreichen Anwendung physischer Principien, schon wegen der unberechenbaren statistischen Merkwür=digkeit dieser Maschine wünschenswerth seyn muß. — Das Original ist als Compendium zu den Vorle=sungen des Verfassers, welcher als öffentlicher Lehrer der Mechanik an dem königl. Institute zu London wirkt, bestimmt, und dürfte sich, unserer Ansicht nach, vorzüglich für Privatlehrer eignen, um an dasselbe einen ausführlichen Unterricht an=zureihen.

Der Uebersetzer.

Inhalt.

Seite

Erster Abschnitt. 3

Zweiter Abschnitt.

Mechanik 16

Vom Moment 47

Dritter Abschnitt.

Vom Schwerpunct 49

Vierter Abschnitt.

Von den mechanischen Kräften 57

Vom Hebel 58

Rad und Axe 73

Die Rolle 78

Die geneigte Ebene 85

Der Keil 87

Die Schraube 90

Seite

Fünfter Abschnitt.

Pneumatik, oder die mechanischen Eigenschaften der Luft . 105

Sechster Abschnitt.

Akustik 145

Siebenter Abschnitt.

Hydrostatik 161

Achter Abschnitt.

Hydraulik 206

Millington's

populäre

Vorträge über Physik.

Erster Abschnitt.

In einem erleuchteten Zeitalter, wie das unsrige, wo das Studium der Physik mit Eifer und sehr allgemein betrieben wird, braucht sich ein Werk wie das vorliegende nicht erst zu bemühen, dessen Nutzen darzuthun. Es macht keine Ansprüche darauf, die verschiedenen Zweige der Physik erschöpfend abzuhandeln, sondern es will nur, wie der Titel besagt, ein Compendium oder ein kurzer Abriß eines fortlaufenden Vortrags über die mechanischen und mathematischen Zweige der Physik seyn. Es ist zu dem Zwecke geschrieben, dem Gedächtniß in den wesentlichsten Puncten zu Hülfe zu kommen. Indeß sollen hier nicht nur die Grundzüge niedergelegt, sondern es soll dem Leser auch ein deutlicher Begriff von der Art und Weise beigebracht werden, wie man die verschiedenen Experimente, durch welche jener erläutert wird, ausführt.

Das Experiment wird jetzt als die Grundlage der Physik betrachtet, und nichts in deren Bereich aufgenommen, was sich nicht durch dasselbe bewährt. In dieser Hinsicht unterscheidet sich die neuere Physik bedeutend von der der Alten: jene ist auf die unerschütterliche Grundlage

der Vernunft und Erfahrung gebaut, während diese sich nur auf unerwiesene Conjecturen stützt. Den Englischen Physikern brach Bacon die Bahn. Er zog zuerst die Wissenschaft wieder aus dem Dunkel hervor, welches sie seither umhüllt hatte. Ihm folgten Boyle und der unsterbliche Newton; es entstand die Royal Society, und unsere Wissenschaft erhob sich in kurzer Zeit auf eine höhere Staffel, als selbst ihre eifrigsten Jünger gehofft hatten.

Um die verschiedenen Operationen der Natur gehörig zu verstehen, muß man sie zuvörderst in ihrer einfachsten und ungezwungensten Gestalt untersuchen. Wir müssen ihre einfachsten Gesetze zu erspähen suchen, ehe wir uns mit den zusammengesetzten Verhältnissen beschäftigen. Wir betrachten daher im ersten Abschnitt nur die Natur und die mechanischen Eigenschaften der Materie, oder einfachen Substanz.

Unter mechanischen Eigenschaften verstehen wir diejenigen, welche bei jeder mechanischen Verrichtung, sey es nun Wiegen, Brechen, Messen u. dergl. in die Augen fallen, wobei wir auf die Zusammensetzung des Körpers, an dem diese Eigenschaft wahrgenommen wird, durchaus keine Rücksicht nehmen. So wird im Allgemeinen die mechanische Wirkung des Wassers, es mag nun aus einem Fluß oder einer Quelle genommen seyn, so wie der verschiedenen Gas- oder Luftarten dieselbe seyn, wenn gleich sie aus sehr verschiedenen Bestandtheilen zusammengesetzt sind. Untersucht man sie in dieser letztern Hinsicht, so bedarf man der Chemie, und die auf diesem Wege entdeckten Eigenschaften kann man daher füglich die chemischen Eigenschaften der Materie nennen.

Materie ist die allgemeine Benennung für jede Art von Substanzen oder Körpern, welche die Fähigkeit, einen

Raum auszufüllen, oder die Eigenschaften der Länge, Breite und Dicke haben; daher jeder Gegenstand, welcher gesehen oder angetastet werden kann, der Materie angehört.

Wenn wir von den Eigenschaften der Materie handeln, so gilt dieß bloß von den einfachen oder ursprünglichen Bestandtheilen, aus welchen die Körper oder Substanzen, die uns im gemeinen Leben aufstoßen, gebildet sind. Diese ursprünglichen Elemente, aus welchen sämmtliche Körper bestehen, nennt man die einfache Materie oder auch Elemente.

Nach der Lehre der Alten, gab es bloß vier Elemente oder einfache Körper, nämlich Feuer, Wasser, Erde und Luft, und aus diesen dachten sie sich alle in der Natur vorkommenden Körper zusammengesetzt. Erst die neuere Chemie weis't nach, daß sie sämmtlich nicht einfach sind, und giebt uns statt deren ein Verzeichniß von mehr als 40 Substanzen, welche, da sie jedem Versuch sie zu zerlegen widerstanden haben, mit Recht Elemente genannt werden dürfen. In Bezug auf deren Namen und Natur, verweisen wir den Leser auf irgend ein neueres chemisches Werk.

Wiewohl die verschiedenen Körper, welche die Natur unserer sinnlichen Wahrnehmung darbietet, bei'm Betasten, Wiegen und Beschauen sich wesentlich von einander unterscheiden, so besitzen doch die Grundstoffe, aus welchen sie bestehen, sämmtlich die, der Materie im Allgemeinen zukommenden mechanischen Eigenschaften, deren fünf sind. 1) Die Theilchen der Materie sind fest und nehmen Raum ein. 2) Sie sind bis in's Unendliche theilbar. 3) Sie sind bis in's Undurchdringliche hart. 4) Sie können bewegt werden, aber nicht durch inwohnende Kraft, d. h. sie sind träge. 5) Sie ziehen sämmtlich an und werden angezogen.

Die erste dieser Eigenschaften braucht nicht weiter nachgewiesen zu werden; denn es ist schon in der Definition der Materie begriffen, daß sie Länge, Breite und Dicke besitzt, und diese Eigenschaften zusammengenommen kann nur ein Körper haben, der Raum einnimmt und fest ist. Diese Charactere kommen der Materie im Allgemeinen zu, wiewohl sie nicht immer in die Augen fallen; so ist die Luft, wiewohl sie unsichtbar ist, dennoch materiell. Taucht man z. B. eine, an beiden Enden offene Glasröhre, nachdem man das obere Ende mit dem Finger geschlossen hat, in Wasser, so bemerkt man, daß die Luft körperlich ist und ihren eigenen Raum in der Röhre einnimmt; denn das Wasser wird, so lange der Finger in dieser Lage bleibt, nur bis auf eine gewisse Weite eindringen können; sobald jener aber weggenommen wird, entweicht die Luft und das Wasser steigt in der Röhre zu derselben Höhe, wie außerhalb derselben.

Die zweite Eigenschaft der Materie ist ihre unendliche Theilbarkeit; mit andern Worten: die ursprünglichen Bestandtheile oder Elemente, aus welchen alle Körper bestehen, sind unendlich klein. Wenn also Marmor, oder irgend ein spröder Körper in's feinste Pulver, welches der menschlichen Kunst herzustellen möglich ist, verwandelt wird, so sind dessen ursprüngliche Partikeln dennoch nicht zerknirscht oder überhaupt zur Mitleidenheit gezogen worden. Denn wenn man dieß Pulver unter'm Microscop betrachtet, so erscheint jedes Körnchen als ein massiver Stein, der dem Block, von welchem es getrennt ist, ähnelt, und es könnte daher, wenn wir passende Instrumente besäßen, noch mehr getheilt, und in ein weit feineres Pulver verwandelt werden. — Wenn ein Gran Kupfer in etwa 50 Tropfen Salpetersäure aufgelöst und die Solution alsdann mit etwa einer Unze Wasser verdünnt wird, so muß offen-

bar ein Tropfen davon einen fast unendlich kleinen Theil von dem Kupfer enthalten; sobald er jedoch mit einem Stück polirtem Stahl oder Eisen in Berührung kommt, wird dieß Metall sogleich mit einer ununterbrochenen Bekleidung von Kupfer überzogen. Hieraus geht hervor, wie erstaunlich man das Kupfer theilen kann, ohne daß dessen Structur im geringsten verändert wird.

Gold wird unter dem Hammer so sehr ausgedehnt, daß der 500,000ste Theil eines Grans dem unbewaffneten Auge, oder der 50,000,000ste Theil unter einem nur zehnfach vergrößernden Microscope erkennbar bleibt. Herr Ferguson hat berechnet, daß man mit einem einzigen Pfunde Gold einen Silberdraht vergolden könnte, der um die ganze Erde liefe, oder 5,400 Meilen lang wäre; allein die Wunder der Kunst versinken in ihr Nichts, wenn man sie mit denen der Natur vergleicht, denn Leuwenhoeck, der bekannte Gelehrte, welcher so viele microscopische Beobachtungen angestellt hat, behauptet, er habe in einem Stückchen von der Milch eines Stockfisches, das nicht größer als ein gewöhnliches Sandkorn gewesen, 2,000,000 Thierchen gezählt. Daß die Materie unendlich theilbar sey, läßt sich sogar mathematisch darthun.

Die dritte Eigenschaft der Materie, nämlich die undurchdringliche Härte, scheint die Natur derselben verliehen zu haben, damit ihre Werke nicht altern können; denn obgleich in vielen Fällen, z. B. bei Verbrennung und Verdunstung, Körper zu verschwinden scheinen, so thut doch die Kunst des Chemikers genügend dar, daß sie nicht vernichtet werden können, sondern daß die ursprünglichen Elemente jederzeit noch vorhanden sind, wiewohl sie sich bei der Veränderung in ihren Verbindungen unter einer andern Gestalt zeigen. Selbst anscheinend weiche Körper, als Luft und Wasser, erscheinen bei gehöriger Untersuch-

ung als hart; denn wiewohl man mit den winzigen Grundbestandtheilen keine Experimente anstellen kann, so zeigen sich doch bei Prüfung der, durch ihre Anhäufung gebildeten Körper, je nachdem man jene auf die eine oder andere Weise vornimmt, ganz verschiedene Erscheinungen. So übt eine Quantität Wasser, welche in eine offene Röhre fällt, wegen des Widerstands, den sie von Seiten der Luft erfährt, anscheinend keinen bedeutenden Stoß aus; ist aber die Luft vorher ausgepumpt, so fällt jener Widerstand weg, und das Wasser wird mit demselben Schalle, wie unter gewöhnlichen Umständen Schrot oder Steine niederfallen. Ein solches Instrument nennt man einen Wasserhammer. Die Härte und Unzusammendrückbarkeit des Wassers wird ferner durch die Art und Weise, wie Bramah's hydraulische Presse wirkt, sehr anschaulich bewiesen; (die Beschreibung dieser Maschine kann man in dem der Hydraulik gewidmeten Abschnitt nachsehen). Die Luft ist in Ansehung ihrer Elasticität vom Wasser verschieden, allein daß sie gleichfalls fest sey, geht daraus hervor, daß man einen bedeutenden Widerstand zu überwinden hat, wenn man eine damit gefüllte Blase zusammendrückt; auch spricht der laute Knall dafür, mit dem eine Blase platzt, welche während dem Auspumpen eines Recipienten über das obere Ende desselben gebunden ist.

Die vierte Eigenschaft der Materie, oder deren Trägheit und passive Bewegungs-Fähigkeit, können wir beständig wahrnehmen. Unter dieser Bewegungs-Fähigkeit ist zu verstehen, daß die Materie jederzeit eine Ortsveränderung erleidet, wenn die Kraft angewandt wird, welche deren Gewicht oder vis inertiae überwinden kann. Wenn wir ihr die Eigenschaft der Trägheit beilegen, so soll damit gesagt werden, daß sie unthätig ist oder sich gegen die Ruhe, sowohl als gegen die Bewegung, gleichgültig verhält, beider fähig ist, aber

stets eine Kraft äußert, um in dem Zustand, in welchem sie sich befindet, zu verharren. Wenn man z. B. reitet und das Pferd plötzlich stille steht; wenn ein Fuhrwerk, oder Boot durch irgend einen Widerstand aufgehalten wird, so wird man vermöge seines, unbewußt inwohnenden Strebens, in dem Zustand der Bewegung, als dem gerade bestehenden, zu verharren, vorwärts getrieben; daß dieß mit leblosen, so gut als mit belebten Körpern der Fall ist, erhellt, wenn man einer Schüssel voll Wasser einen kräftigen Stoß giebt; alsdann wird das Wasser auf der Seite herausschlagen, von welcher die Kraft einwirkt; befindet sich aber die Schüssel einmal in Bewegung, und wird sie dann plötzlich in den Zustand der Ruhe versetzt, so wird das Wasser auf der entgegengesetzten Seite herausspringen. Man könnte unzählige andere Beispiele davon aufführen, wie viel Mühe es kostet, schwere Körper, als Schiffe, Lastwagen u. s. w. in Bewegung zu setzen. Kraft dieser Eigenschaft der Materie wird ein Stein, oder irgend ein unbelebter Körper, der keine Anregung von außen erhält, nie eine Ortsveränderung erleiden; wäre er aber einmal in Bewegung gesetzt, so würde er ewig bei derselben verharren, wenn sich ihm nicht irgend ein Widerstand entgegenstellte. Auf einer Kegelbahn wird die Kugel durch den Widerstand und die Reibung, die sie von der Bahn und Luft erleidet, aufgehalten, und sie würde ohne Zweifel auf einer polirten Oberfläche um vieles weiter rollen. Jedoch würde selbst in diesem Falle die Luft, welche, wie wir gesehen haben, die Eigenschaft der Festigkeit besitzt, ihr einigen Widerstand entgegenstellen und sie zur gehörigen Zeit zum Stillstand bringen. Bewegte sie sich dagegen im luftleeren Raum, den man unter dem Recipienten einer Luftpumpe approximativ herstellen kann, und erführe sie keinen Widerstand von der Fläche, über

die sie hingleitet, so würde ihre Bewegung ewig fortgehen; indem die einzigen Hindernisse, welche sich ihr entgegenstellen, unserer Annahme nach, aufgehoben wären. Dieß ist der Fall mit dem Mond und den Planeten; sie bewegen sich im unendlichen Raum und treffen nirgends auf Reibung oder Widerstand; deßhalb bleibt ihnen die, bei der Schöpfung verliehene Bewegung ungeschmälert. Bei Gelegenheit der Astronomie werden wir ausführlicher von der Bewegung der Planeten handeln.

Die fünfte Eigenschaft der Materie oder die Attraction, wohnt wiederum jedem einzelnen Theilchen inne. Jeder Körper zieht an und wird angezogen, im Verhältniß zu seiner Quantität. Deßhalb werden sämmtliche auf der Oberfläche der Erde befindliche Gegenstände nach deren Mittelpunkt hingezogen; weil die Erde die größte Masse von Materie ist, die sich in ihrer Nachbarschaft befindet. Aus demselben Grunde ist ein zweipfündiges Gewicht um das Doppelte schwerer, als ein einpfündiges. Denn jenes enthält eine doppelte Anzahl von Partikeln, und wird also auch doppelt so stark angezogen. Gewicht ist nichts anders, als gehemmte Wirkung der Anziehungskraft der Erde. Wir unterscheiden verschiedene Arten der Anziehungskraft unter den Namen Cohäsion, Gravitation, Magnetismus, Electricität und besondere Anziehung oder Verwandtschaft. Rücksichtlich der allgemeinen Wirkung kommen sich dieselben, mit Ausnahme der Letzten, ziemlich gleich, wiewohl sie auf verschiedenen Umständen beruhen. Electricität und Magnetismus werden in den ihnen eigends gewidmeten Abschnitten abgehandelt werden.

Cohäsion ist diejenige Kraft, welche die verschiedenen oder selbstständigen Theilchen der Materie zusammenhält und sie zu Massen oder Körpern gestaltet. Gewöhnlich erstreckt sich diese Anziehungskraft auf eine kaum merkliche

Entfernung vom Körper selbst; wenn daher die Theile irgend einer Substanz getrennt oder gebrochen sind, so hält es schwer, sie wieder zu vereinigen. Kann man sie jedoch in gehörig nahe Berührung bringen, so tritt jene Anziehungskraft in ihre Rechte und vereinigt dieselben. Dieß ist der Grund, warum zwei Stücke glühenden Eisens durch Hämmern innig vereinigt werden können. Zwei Platten, die eine von Blei, die andere von Zinn, werden zu einer einzigen vereinigt, wenn sie durch eine Blechmaschine getrieben werden. Leime, Kitte und Löthungen wirken, in Bezug auf die Substanzen, auf welche man sie anwendet, in derselben Art; sie füllen die Poren und die Zwischenräume aus, und machen die Berührung vollkommener. Wie diese Kraft wirke, kann man sich anschaulich machen, wenn man zwei möglichst ebene Stücken Blei an einander preßt; die alsdann so fest zusammenhängen werden, daß sie nur mit bedeutendem Kraftaufwand getrennt werden können. Das Verhältniß, in welchem diese Anziehungskraft zunimmt, je mehr sich die Körper einander nähern, kann man sehr anschaulich machen, wenn man zwei gleich große Korkkugeln auf demselben Wasserspiegel schwimmen läßt; sie werden sich mit beschleunigter Bewegung einander nähern und diese wird in demselben Verhältniß zunehmen, als die Quadrate der Entfernungen abnehmen. Die Kraft, welche alle Gegenstände an die Oberfläche der Erde fesselt, ist gleichfalls diese Art der Attraction; reden wir aber von Weltkörpern, so nennen wir sie die Anziehung der Gravitation.

Da die Anziehung der Cohäsion der Materie im Allgemeinen zukommt, so dürfte man glauben, daß Theilchen jeder Art ohne Unterschied zusammenhängen und Körper bilden können; daß also eine unendliche Mannichfaltigkeit von zusammengesetzten Körpern in der Natur vorkäme, und es kaum möglich sey, daß zwei derselben dieselbe Mi-

schung hätten. Dieß würde ohne Zweifel der Fall seyn, wenn die Attraction nicht durch die sogenannte Verwandtschaft modificirt würde. Da diese jedoch nicht sowohl eine mechanische als vielmehr eine chemische Eigenschaft der Materie ist, so können wir hier nicht von derselben handeln. Durch sie werden jedoch die allgemeinen Wirkungen der Cohäsion gezügelt; nur eine besondere Art von Materie wird sich mit einer zweiten verbinden, wo nicht durch die Dazwischenkunft einer dritten oder vierten ein anderes Gesetz eintritt. Dem zufolge bildete sich nur eine bestimmte Anzahl von natürlichen Substanzen und bemerkt man an demselben Körper stets ziemlich die nämlichen Charactere.

Die Capillarische oder Haarröhrchen-Anziehung ist die Art derselben, vermöge welcher tropfbare Flüssigkeiten in Röhrchen von geringem Durchmesser in die Höhe steigen. Es ist dieß nur eine Modification der Cohäsionskraft. Taucht man ein Haarröhrchen in eine Flüssigkeit, so wird dieselbe bis zu einer gewissen Höhe, welche dem Caliber angemessen ist, darin aufsteigen und zwar um so höher, je geringer der Durchmesser der Röhre ist. Dieß beruht auf der cohäsiven Anziehungskraft, welche die Wände der Röhre ausüben, und so erklärt es sich, wie der Saft in den Gefäßen der Vegetabilien aufsteigen kann. Wie diese Anziehung an Kraft gewinnt, je geringer der Durchmesser der Röhre ist, kann man sich auf eine durchaus genügende Weise anschaulich machen, wenn man zwei Glasplatten an dem einem Rande zusammenhält und keilförmig auseinander stehen läßt. Taucht man diese in's Wasser, und erhöht man sie dann über das Niveau desselben, so bildet der obere Rand der rückständigen Feuchtigkeit die Figur einer Hyperbel. Hier bemerken wir, daß wie die Entfernung der Glastafeln in arithmetischer Proportion zunimmt, deren

Anziehungskraft in geometrischer abnimmt. Die capillarische Anziehung ist ferner Ursache, daß Flüssigkeiten in Schwämmen, Zucker, Sand und andern porösen Körpern aufsteigen, sobald sie mit ihnen in Berührung kommen.

Die Dichtigkeit der Körper, die man aus deren abweichender Schwere bei gleichem Umfange erkennt, beruhet wahrscheinlich darauf, daß ihre ursprünglichen Theilchen so gestaltet und geordnet sind, daß sie in mehr oder weniger genaue Berührung kommen können. Es können in jedem gegebenen Raume sich eine größere Menge von Partikeln vereinigen lassen, wenn deren Gestalt regelmäßig ist, als wenn eine unregelmäßige Oberfläche deren gegenseitige Berührung verhindert. Nehmen wir z. B. an, daß in einem Kubikzoll Gold eine Million Partikeln enthalten sind, so würden 500,000 Eisentheilchen oder 100,000 Holztheilchen denselben Raum ausfüllen. Im Eisen und Holz müssen sich daher weit mehr Poren oder Zwischenräume befinden, als im Golde, und das letzte wird also der schwerste und dichteste Körper darunter seyn. Also beruhet die größere Dichtigkeit und Schwere desselben nicht darauf, daß die einzelnen Theilchen des Goldes schwerer wären, als die des Holzes, sondern darauf, daß von dem erstern eine größere Anzahl in demselben Raum gedrängt ist; denn man nimmt an, daß die ursprünglichen Theilchen der sämmtlichen Materie einerlei Schwere haben. Demnach kann Gold, welches einer der dichtesten festen Körper ist, im aufgelöst'en Zustand vom Aether, einem der leichtesten aller tropfbaren Flüssigkeiten, schwebend erhalten werden. Es ist unmöglich, das absolute Gewicht von Körpern, die verschiedene Dichtigkeit besitzen, genau zu erhalten, wenn man sie in der freien Luft wiegt; denn die Luft wird dem weniger dichten mehr von seinem Gewicht entziehen, als dem andern, und wenn also ein Stück Kork einem Stück

Blei an einem Wagbalken vollkommen das Gleichgewicht halten kann, so wird dieses doch aufgehoben werden, so bald man diese beiden Körper unter einem ausgepumpten Recipienten wiegt. Auf den Kork wird alsdann die hebende Kraft der Luft nicht mehr wirken; er wird das Uebergewicht haben und es wird daraus hervorgehen, daß er mehr Materie als das Blei enthalte, oder ein größeres, absolutes Gewicht habe. Noch augenfälliger wird dieser Gegenstand erläutert, wenn man eine Goldmünze und Feder unter einem hohen gläsernen Recipienten fallen läßt. Wenn dieser voll Luft ist, so fällt die Münze nieder, während die Feder herumschwebt; ist dagegen die Luft aus dem Recipienten gepumpt, so erreichen beide Körper den Boden zu gleicher Zeit.

Da die Erde von runder Gestalt ist, und die Anziehungskraft nach Maaßgabe der Quantität der Materie wächst, so werden natürlich deren Bewohner und alle auf der Oberfläche befindliche Körper nach dem Mittelpunkt hingezogen; denn da die längste Linie, welche durch eine Kugel gefällt werden kann, deren Durchmesser ist, welcher jederzeit den Mittelpunkt schneidet, so wird derselbe gleichfalls durch die größte Quantität Materie, die nach einer Richtung hinliegt, gehen, woraus denn folgt, daß alle Körper nach dem Mittelpunkt der Erde zu fallen werden. Deßhalb kann man sich des Loths bedienen, um eine senkrecht auf den Horizont oder auf jeden Punkt der Erdoberfläche fallende Linie zu erhalten; um die Wände eines Gebäudes zu richten u. s. w.

Wiewohl die genannten fünf Eigenschaften der Materie derselben allgemein zugestanden worden, so besitzt dieselbe doch noch eine sechste sehr wichtige, nämlich die Kraft der Anordnung oder Richtung, die man gemeiniglich ihre Polarität nennt. Aus der cohäsiven Anziehung

läßt sich die Bildung von Massen oder Körpern schon hinlänglich erklären, da jene die ursprünglichen Partikeln der Materie einander nähert und alsdann zusammenhält; allein es findet sich, daß sie nicht nur aneinander gezogen und festgehalten werden, sondern daß dieselbe Materie jederzeit dieselbe Anordnung oder Bildung annimmt. So wird ein Stück Eisen, Zinn u. s. w. auf dem Bruch jederzeit dieselbe Structur oder Anordnung der Theile, oder, wie man gewöhnlich sagt, dasselbe Korn zeigen. Es hat sich ergeben, daß die Gesetze, nach welchen diese Combinationen bei Vereinigung der Grundstoffe oder Bildung der Körper vor sich gehen, so unabänderlich sind, daß die neuern chemischen Untersuchungen dadurch eine fast mathematische Bestimmtheit erhalten. Denn man hat nicht nur ausgemittelt, daß dieselben Bestandtheile in den meisten Fällen dieselbe Gestalt annehmen, sondern auch, daß die Grundstoffe, die bei der Bildung einer gewissen Substanz in Anspruch genommen werden, sich nach bestimmten Verhältnissen vereinigen, in denen kein Wechsel stattfinden kann, ohne daß der Character der Substanz gleichfalls verändert wird. Wiewohl nun Untersuchungen dieser Art unstreitig mechanisch oder mathematisch genannt werden müssen, so sind sie doch fast bloß in Bezug auf die Chemie von Wichtigkeit, und wir dürfen sie daher hier füglich übergehen.

Zweiter Abschnitt.

Mechanik.

Die Wissenschaft der Mechanik beschäftigt sich damit, die Natur der Schwere und Bewegung, so wie die Mittel, durch welche man diese hervorbringt, und die Gesetze, nach denen sie vor sich gehen, auszumitteln. Sie findet ihre Anwendung auf jede Art der Materie. Da jedoch die Thätigkeit und Wirkung bei den festen Körpern sich unter wesentlich andern Bedingungen äußert, als bei flüssigen, so handelt man die letztern gemeiniglich unter dem besondern Namen der Hydrodynamik ab; während sich die Mechanik mehr ausschließlich über die Schwere und Bewegung der festen Körper verbreitet. Da einige flüssige Körper elastisch, einige nicht elastisch sind, so theilt sich auch die Hydrodynamik in zwei verschiedene Zweige, von denen der erstere, die Pneumatik, von den mechanischen Eigenschaften der Luft und aller elastischen Flüssigkeiten, der andere dagegen, die Hydrostatik, von dem Wasser und allen übrigen tropfbar flüssigen Körpern, die nur im geringen Grad elastisch sind, handelt.

Die Mechanik wurzelt in den Eigenschaften der Materie, die wir in dem ersten Abschnitt auseinandergesetzt

haben, und ist in der That nur die weitere Verfolgung derselben. Denn die Anziehungskraft vereinigt nicht nur die selbstständigen Theilchen der Materie zu Körpern, sondern dehnt ihr Bereich weiter aus und bringt Gewicht und Bewegung hervor; das Gewicht der Körper entsteht ja nur dadurch, daß ihr Streben sich mit der Erde zu vereinigen, gehemmt wird. Da nun die sämmtliche Materie mit einer ihrer Quantität angemessenen Kraft anzieht und angezogen wird, so folgt daraus, daß die Erde oder die Kugel, welche wir bewohnen, da sie die größte in unserer unmittelbaren Nachbarschaft befindliche Masse ist, alle auf oder in der Nähe ihrer Oberfläche befindlichen Gegenstände in der Richtung ihres Mittelpunctes anziehen muß (vergl. S. 14), folglich werden sie nach der Erde zufallen. Verhindert man sie aber in dem Bestreben, sich der Erde zu nähern, entweder mit der Hand oder auf andere Weise, so wird jenes Bestreben fühlbar werden und dieß nennt man Gewicht; Gewicht ist nur die gehemmte Anziehung der Erde, und da diese Anziehung um so stärker ist, jemehr der Körper Materie enthält, so wird natürlich der größere Körper kräftiger angezogen werden, oder mit andern Worten schwerer seyn, als der kleinere. Dieser anziehende Einfluß ist nicht nur auf die Erde beschränkt, sondern wohnt vielmehr auch der Sonne und allen Planeten inne, welche ihn gegenseitig aufeinander ausüben. Diese Art von Anziehungskraft nennen wir zum Unterschiede von der Cohäsion, welche nur bei Körpern vorkömmt, die in äußerst naher oder unmittelbarer Berührung mit einander stehen, die Gravitation.

Wiewohl indeß zwischen Gravitation und Schwere eine bedeutende Aehnlichkeit zu bestehen scheint, so dürfen sie doch nicht verwechselt werden; denn die erstere ist die Ursache, die letztere die Wirkung.

Da das Gewicht oder die niederwärtsdrückende Wirkung sämmtlicher Körper von der Quantität ihrer Materie, keineswegs aber von ihrem Umfang oder cubischen Inhalt abhängig ist, so folgt daraus, daß sie durch ihre Dichtigkeit bedingt wird. Mit dieser Benennung bezeichnet man die verhältnißmäßige Quantität von eigentlicher Materie, welche die Körper in Rücksicht auf ihren räumlichen Umfang enthalten; denn man nimmt an, daß die ursprünglichen Theilchen der sämmtlichen Materie alle einerlei Gewicht haben. Aber ein Kubikzoll Gold ist schwerer als ein Kubikzoll Blei und dieser wieder schwerer als ein Kubikzoll Holz; wiewohl sie sämmtlich ein und dieselbe Größe haben. Der Grund davon liegt indessen nicht darin, daß die einzelnen Theilchen irgend eines von diesen Körpern schwerer seyen, als die des andern; sondern, weil eine größere oder geringere Anzahl von Partikeln in denselben Raum zusammengedrängt ist. So befinden sich weit mehr ursprüngliche Theilchen in dem Kubikzoll Gold, als in dem von Blei oder Holz. Es müssen folglich diese Theilchen sich in einer compaktern oder innigern Zusammenfügung befinden, und der Körper, welcher die meisten davon in gleichem Raum enthält, wird der dichteste genannt. Dieser Satz wird dadurch erhärtet, daß man die Dichtigkeit der Körper verändern kann, ohne daß dieß auf ihr Gewicht Einfluß hat. Allein in diesem Falle muß deren Umfang oder kubischer Inhalt jederzeit vergrößert oder verringert werden, da zwar deren Partikeln nicht vermehrt oder vermindert, aber deren Entfernung von einander beträchtlicher oder geringer gemacht wird. Man nehme z. B. an, daß ein Quart atmosphärische Luft 16 Grad wiege; nun kann man mittelst der Luftpumpe bewirken, daß dieselbe Quantität Luft einen viermal größern Raum ausfüllt; dennoch wird sie nicht mehr wiegen als früher, wiewohl

ihr kubischer Inhalt um das Vierfache vergrößert, weil ihre Dichtigkeit zugleich um das Vierfache geringer ist.

Der Wärmestoff hat die Eigenschaft, daß er den Umfang sämmtlicher Körper vergrößert und deren Theilchen mehr von einander entfernt; allein er vergrößert darum ihr Gewicht nicht; folglich werden alle Körper, wenn sie warm, weniger dicht seyn, als wenn sie kalt sind. Wiegt man die Metallstange eines Pyrometer, heiß und kalt, so wird man keinen Unterschied finden; wiewohl das Instrument deutlich anzeigt, daß sich diese Stange bei der Erhitzung nach allen Richtungen hin ausdehnt. Der Zweck des Pyrometers ist zu erfahren, in welchem Verhältniß sich feste Körper bei gewissen Graden von Temperatur ausdehnen. Hierauf kömmt bei der Verfertigung von Uhren und bei vielen andern Verrichtungen viel an, wie wir später bei'm Pendel zeigen werden.

Den Beweis zu führen, daß die ursprünglichen Theilchen der Materie ein und dasselbe Gewicht haben, ist eine Sache der Unmöglichkeit. Man führt zu diesem Ende zuweilen das Experiment an, wo man von der Spitze eines gläsernen Recipienten, den man mittelst einer Luftpumpe entleert hat, ein Goldstück und eine Feder in demselben Augenblick fallen läßt; allein es ist dieß für den vorliegenden Fall keineswegs streng beweisend. Vielleicht dürfte die für die Gleichheit des Gewichts sämmtlicher ursprünglichen Partikeln am meisten beweisende Thatsache seyn, daß sich Gold, welches in salpetersaurer Salzsäure aufgelöst, und in Aether gebracht wird, nicht niederschlägt, sondern in jeden Theil der Flüssigkeit gleichförmig vertheilt und schwebend erhalten wird.

Wie das Gewicht in der fünften Eigenschaft der Materie seinen Grund hat, so beruht die Bewegung auf

der vierten, daß nämlich die Materie der Bewegung fähig aber träge oder gegen Ruhe und Bewegung gleichgültig ist, und in demjenigen Zustande zu verharren strebt, in welchem sie sich gerade befindet. Da also die Materie unfähig ist, sich selbst zu bewegen, so setzt jede Bewegung das Daseyn irgend einer Kraft, welche hinreicht, jene hervorzubringen, voraus, und diese kann entweder die Schwerkraft, thierische Kraft, oder die Thätigkeit der Elasticität, wie bei Stahlfedern, Dampfmaschinen u. s. w. seyn. In der Mechanik wird eine jede Ursache der Bewegung Kraft und dasjenige, was zu überwinden ist, Widerstand genannt.

Unseren Sinnen wird die Bewegung nur durch eine Vergleichung der Lage der Körper gegeneinander wahrnehmbar. Deßhalb hat man behauptet, wenn nur ein Körper existirte, so würde Bewegung ganz undenkbar seyn, weil kein zweiter Gegenstand vorhanden wäre, mit welchem die Veränderung der Lage verglichen werden könnte. So oft der Gegenstand der Vergleichung im geringsten zweideutig ist, wird es äußerst schwierig, sich von der Bewegung zu überzeugen. So erkennt man die Bewegung der Erde mittelst der Fixsterne, die weder berührt noch untersucht werden können, und wegen der großen Gleichförmigkeit dieser Bewegung wird es einem Bewohner unmöglich zu sagen, ob er mit der Erde fortgehe, oder stille stehe und die Sterne sich um ihn drehen, wie wohl die Astronomie außer Zweifel setzt, daß das Erstere der Fall sey. Eine ähnliche Schwierigkeit entsteht, wenn Bäume und Häuser scheinbar in Bewegung sind, während wir in einem Boot oder Fuhrwerk vor ihnen vorbeifahren; da wir diese aber untersuchen können, so lehrt uns der gesunde Menschenverstand, daß sie sich im ruhenden Zustande befinden, wenn gleich sie sich scheinbar fortbewegen.

Die Bewegung nennt man, nach den Bedingungen, unter welchen sie stattfindet, absolut oder relativ; die absolute Bewegung ist eine wirkliche Ortsveränderung, die relative nur eine scheinbare. So befindet sich ein Mensch, der von dem einen Ende einer ruhenden Barke nach dem andern geht, in absoluter Bewegung; weil er seinen Ort nicht nur in Bezug auf seine Stellung zu der Barke, sondern zugleich zu der darunter befindlichen Erde verändert. Wenn er dagegen vom Vordertheil nach dem Hintertheil der Barke gegangen wäre, während dieselbe sich mit derselben Schnelligkeit wie er, fortbewegt hätte, so würde er bloß in relativer Bewegung gewesen seyn: denn er würde zwar seine Lage in Bezug auf die Barke verändert, sich aber immer über demselben Puncte der Erde befunden und daher rücksichtlich dieser letztern durchaus nicht bewegt haben.

Die Gesetze der Bewegung sind: 1) jeder Körper wird im Zustand der Ruhe bleiben, bis er durch irgend eine Kraft in Bewegung gesetzt wird; ist diese Kraft einfach, so wird die bewirkte Bewegung in gerader Linie vor sich gehen, und zwar so lange, als sie nur durch diese Kraft erzeugt wird; 2) die Bewegung ist jederzeit der einwirkenden bewegenden Kraft angemessen und geht nach der Richtung der geraden Linie vor sich, in welcher die Kraft wirkt; 3) Wirkung und Widerstand sind bei gleichen Quantitäten von Materie jederzeit gleich und wirken in entgegengesetzter Richtung.

Das erste dieser Gesetze hat seinen Grund in der sogenannten vis inertiae oder Trägheit der Materie, womit man andeuten will, daß die Materie sich nicht nur ohne die Anwendung irgend einer Kraft nicht bewegen, sondern auch, wenn sie einmal in Bewegung gesetzt ist, in diesem

Zustand verharren wird. Wenn daher ein Körper in Bewegung gesetzt ist, so würde dieselbe ewig in gerader Linie fortdauern, wenn sie nicht durch irgend eine äußere Kraft, z. B. den Widerstand der Luft, Reibung oder die Anziehung der Gravitation verringert, oder aufgehoben wird; jede dieser Kräfte kann ihre Richtung verändern, oder sie mit der Zeit gänzlich aufheben.

Das zweite Gesetz lehrt uns, wie jeder Wechsel, der sich in der Richtung sowohl als der Schnelligkeit der Bewegung eines Körpers zuträgt, jederzeit der Kraft, welche ihn hervorbringt, angemessen sey und in derselben Richtung stattfinde. Wenn sich also ein Körper nach einer gewissen Richtung hinbewegt und eine Kraft auf ihn einwirkt, welche stark genug ist, die frühere aufzuheben, so wird er seine Bewegung in der Richtung dieser neuen Kraft fortsetzen. Ist dagegen die ältere Kraft nicht aufgehoben, so wird sich der Körper, da er keine doppelte Bewegung zugleich haben kann, unter dem Einfluß der zusammengesetzten Kraft nach einer mittlern oder diagonalen Richtung bewegen, die, nach Maaßgabe der auf ihn zugleich wirkenden beiden Kräfte, verschieden ist.

Das dritte Gesetz hat seinen Grund gleichfalls in der Trägheit der Materie; wir lernen daraus, daß jeder Körper, der in Bewegung gesetzt wird, einen solchen Widerstand leistet, daß er gegen einen zweiten Körper, der diese Bewegung erzeugt, mit einer der Schnelligkeit und ihrer beiderseitigen Quantität an Materie angemessenen Kraft zurückwirkt. Hieraus erklärt sich das Stoßen der Feuergewehre und viele andere im gemeinen Leben vorkommende Erscheinungen.

Die Schwerkraft oder die Anziehung der Erde ist die einzige fortwährend in der Natur obwaltende Ursache von

einfacher Bewegung, welche wir auf ihrer Oberfläche kennen. Diese Kraft ist jederzeit vorhanden, und vermöge ihrer fallen alle Körper in gerader Linie nach dem Mittelpunct der Erde hin. Alle übrigen Kräfte, durch welche Körper vermocht werden, sich wagrecht, aufrecht oder anders zu bewegen, sind veränderlich und zufällig. Dahin gehört: die Kraft des Windes, Wassers, Dampfes, Schießpulvers, die thierische Kraft. Da diese nun gelegentlich in Thätigkeit gesetzt werden, während die Schwerkraft nie aufhört zu wirken; so bilden sie in vielen Fällen mit dieser letzten zusammengesetzte Kräfte, von denen wir später handeln werden.

Die Ursache, wßhalb diese anziehende Kraft in der Richtung nach dem Mittelpunct der Erde wirkt, ist früher erklärt worden, und auf ihr beruht die Anwendbarkeit des Loths; denn da das Loth bloß aus einer Schnur besteht, an deren untern Ende ein freies Gewicht hängt, so wird die Schnur, während sie das Gewicht vom Fallen abhält, zu gleicher Zeit nach der Richtung einer Linie hingezogen, welche den Mittelpunct der Erde schneidet und giebt daher das möglichst genaue Perpendikel auf den jedesmaligen Horizont; so daß man mit dieser Vorrichtung nicht nur für die gewöhnlichen Zwecke des Lebens, sondern auch zur Einrichtung der besten astronomischen Instrumente ausreicht. Da nun sämmtliche Lothschnüre nach dem Mittelpunct der Erde gerichtet sind, so leuchtet es ein, daß nie zwei derselben, selbst wenn sie sich noch so nahe nebeneinander befinden, parallel mit einander hängen können. Keppler glaubte, daß man sich dieses Umstands zur Ausmessung der Erde bedienen könne. Riccioli, ein Italienischer Astronom, versuchte es vergebens. Wir werden in dem ersten Abschnitt über Astronomie davon weiter reden.

Dieselbe Ursache, welche einen Körper zwingt, senkrecht nach der Erde zu fallen, veranlaßt auch, daß er einen Berg herabrollt, weil er sich am Fuße desselben näher an dem Mittelpunct der Erde befinden wird, als auf dem Gipfel, und eine wahrhaft horizontale Fläche, oder eine solche, auf welcher das Wasser kein Bestreben zu fließen äußern wird, kann daher keine Ebene, sondern muß so gebogen seyn, daß sie mit der Oberfläche der Erde parallel, oder vielmehr in allen ihren Puncten gleich weit vom Mittelpunct derselben abstehend ist. Denn wäre sie eben, so würde sie die Erde nur in einem Puncte berühren und da dieser Punct c. Taf. I. fig. 1. der dem Mittelpunct der Erde zunächst liegende wäre, so würde die Kugel b. oder jeder bewegliche Körper sich nach demselben hinab begeben; überhaupt nur im Puncte c. und an keiner andern Stelle der Ebene c, b. in Ruhe bleiben können.

Aus diesem Grunde ist die Oberfläche des Meeres, der Seen und selbst kleiner Ansammlungen von Wasser und anderer Flüssigkeiten keineswegs eben, sondern sie nimmt an der allgemeinen Rundung der Erde Antheil, weil jeder Punct ihrer Oberfläche von dem Mittelpunct der Erde gleich weit entfernt ist.

Die Instrumente, durch welche horizontale Linien auf der Erde bestimmt werden, nennt man Nivellirungs-Apparate. Sie sind von verschiedener Gestalt; allein der beste und einfachste, die Wasserwage, besteht aus einer möglichst richtigen cylindrischen Glasröhre, welche an beiden Enden hermetisch verschlossen, aber vorher mit Wasser oder Weingeist so gefüllt ist, daß bloß eine kleine Luftblase, wie in fig. 2. Taf. I. übrig bleibt. Wenn nun die Röhre horizontal gehalten wird, so bleibt die Luftblase unverrückt in der Mitte stehen, wie bei a.; da jedoch die Luft leichter als Weingeist oder Wasser ist, so wird die

Blase jederzeit nach dem obersten Puncte steigen und folglich nur dann unverrückt in der Mitte bleiben, wenn die Röhre genau eine horizontale Lage hat. Wenn eine Röhre dieser Art in Metall gefaßt und mit Visiren, oder einem Fernrohr versehen ist, so nennt man sie ein Nivellirungs-Instrument. Bei den besten Wasserwagen ist die innere Seite mit der größten Genauigkeit calibrirt und gerichtet. Weil der Aether in seinen Bewegungen das empfindlichste Fluidum ist, so wendet man diesen vorzugsweise an.

Um zu beweisen, daß die Körper von der ganzen Masse der Erde und nicht durch irgend eine besondere, bloß im Mittelpunct vorhandene Kraft angezogen werden, stellte man verschiedene Experimente an. Vorzüglich bekannt sind die des Dr. Halley, Cavendish und Dr. Maskelyne. Die des ersten genannten Gelehrten wurden in Südamerika angestellt und die des letzten an dem Abhang des Bergs Schehallien in Schottland, wo die Lothschnur durch die anziehende Kraft des Berges um 6 Secunden eines Grades von der senkrechten Linie seitwärts gezogen wurde. Daher würde ein in dem Mittelpunct der Erde befindlicher Körper, der die Freiheit hätte, sich zu bewegen, durchaus in Ruhe bleiben; denn im Mittelpuncte würde die Anziehungskraft von allen Seiten gleich stark wirken, und der Körper daselbst unbeweglich schwebend erhalten werden.

Die, in Folge der Schwerkraft fallenden Körper werden nicht nur dadurch eine größere bewegende Kraft (Moment) erlangen, wodurch ihre eigene Kraft um vieles vermehrt wird, sondern auch zugleich die Schnelligkeit ihrer Bewegung in jedem Augenblick beschleunigen. Der Grund davon liegt in der vierten Eigenschaft der Materie, und es trägt dieß so viel aus, daß bei einem Fall von

nicht mehr als $1\frac{1}{4}$ Zoll Höhe das Gewicht, oder die effective Kraft jedes Körpers verdoppelt wird. Wenn der Körper weiter fällt, so wird diese effective Kraft oder die Stärke, mit welcher er auf jeden sich ihm entgegenstellenden Gegenstand einwirken würde, in dem Verhältnisse zunehmen, wie die Quadratwurzel der Entfernung, welche er durchfallen hat; während sich diese Entfernung, wegen der stets beschleunigten Bewegung nach Maaßgabe des Quadrats der Zeit, welche über dem Falle verstreicht, vermehren wird. So kann man denn die vermehrte Kraft eines fallenden Körpers, so wie das Maaß des Raumes, welchen er binnen einer gegebenen Zeit durchschneiden wird, berechnen.

Gesetzt, man habe eine messingene Kugel, die eine Unze wiegt, so wird dieser natürlich durch das Gewicht einer Unze am andern Ende eines Wagbalkens das Gleichgewicht gehalten werden; erhebt man dagegen die Kugel $1\frac{1}{4}$ Zoll und läßt man sie dann auf das Ende des Wagbalkens fallen, so würde man finden, daß sie dann zwei Unzen Gewicht die Wage halten könnte, weil durch einen so tiefen Fall ihre effective Kraft verdoppelt werden würde. Um diese zu vervierfachen, würde man die Kugel nicht doppelt so hoch wie vorher herabfallen lassen dürfen, weil sich das durch den Fall hinzugefügte Moment nicht wie die Höhe des Falls, sondern wie die Quadratwurzel derselben verhält. Um daher die letzte Kraft zu verdoppeln, müßte die Kugel vier Mal so hoch oder 5 Zoll hoch herabfallen, da vier das Quadrat von zwei ist. Um jene Kraft zu verdreifachen, muß die Kugel 9 Mal so hoch oder $11\frac{1}{4}$ Z.; um sie zu vervierfachen, 4 Mal 4 oder 16 Mal $1\frac{1}{4}$ Zoll herabfallen u. s. f.

Die Schwerkraft wirkt, aus Gründen, welche wir bei Gelegenheit der Astronomie mittheilen werden, nicht gleich-

förmig auf der ganzen Oberfläche der Erde. Versuche haben gelehrt, daß unter der Breite von London ein Körper 16,09 Engl. Fuß oder etwa 16 Fuß 1 Zoll binnen einer Secunde fällt. Da sich nun der durchschnittene Raum wie das Quadrat der Zeit verhält, so wird nach Verlauf der zweiten Secunde der Körper sich 4 Mal 16 Fuß 1 Zoll oder 64 F. 4 Z.; nach Verlauf der dritten Secunde um das Neunfache des ersten Maaßes, oder 144 F. 9 Z. von dem Punkte, den er zuerst verließ, entfernt befinden. Hieraus folgt, daß die Zunahme an Schnelligkeit in jeder folgenden Secunde durch die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7, 9, 11 u. s. w. bezeichnet wird.

Wenn nämlich ein Körper in der ersten Secunde durch irgend einen gegebenen Raum fällt, so muß er in der zweiten das Dreifache dieses Raums durchschneiden, um die Quadratzahl 4 voll zu machen; welche die Anzahl der Räume, welche er binnen zwei Secunden durchfallen haben wird, abgiebt. In der dritten Secunde wird er durch 5 Räume fallen, und addirt man dazu die 3 der zweiten, und den einen Raum der ersten Secunde, so erhält man die Summe 9 als das Quadrat der Zeiten = 3 u. s. f.

Diese Eigenschaft der fallenden Körper, welche allen denen zukömmt, welche dicht genug sind, um nicht durch den Luftzug hin und her getrieben zu werden, benutzt man zuweilen, um unzugängliche Tiefen überschläglich zu messen; allein dieß Verfahren ist nur dann einigermaaßen genau, wenn man das Niederfallen eines Steins oder eines andern Körpers, z. B. bei'm Einschlagen in Wasser, sehen kann; denn das durch den Fall verursachte Geräusch kann, wegen der Zeit, welche die Fortpflanzung des Schalles erheischt, nur verbunden mit einer verwickelten Rechnung zum Merkmahl dienen (Vergl. die Akustik). Kann man den Fall mit den Augen verfolgen, so ist die Regel:

16,09, mit dem Quadrat der, binnen dem Ausgehen und der Ankunft des fallenden Körpers verstrichenen Secunden zu multipliciren. Wir brauchen indeß kaum zu erwähnen, daß dieß Verfahren nur von einem äußerst geschickten Beoachter angewandt werden kann, weil bei bedeutenden Höhen der Bruch der letzten Secunde schon sehr viel austrägt.

Die Schnelligkeit, mit welcher ein fallender Körper niedersteigt, ist so bedeutend, daß das Auge ihm nicht folgen kann; folglich würden alle Versuche in dieser Hinsicht sehr unbestimmt ausfallen, wenn nicht verhältnißmäßig dieselben Wirkungen eintreten, sobald jene Bewegung durch ein Gegengewicht gehemmt und vermindert wird, als sobald der Körper mit seiner vollen ungezügelten Schnelligkeit herabfällt. Wenn man daher zwei ziemlich gleiche Gewichte durch eine Schnur vereinigt, und diese über eine Rolle schlägt, so erhält dadurch der Fall des schwersten eine so geringe Schnelligkeit, daß er genau beobachtet und so ausgemittelt werden kann daß die Schnelligkeit in dem Verhältniß der Quadrate der Zeiten zunimmt; zumal wenn man eine lange papierne Scale und ein Pendel, welches Schwingungen von einer Secunde macht, hinter dem herabsteigenden Gewicht anbringt. Hr. Attwood zu Cambridge erfand zuerst einen solchen Apparat, und wenn dieser gut gearbeitet ist, so leistet er in der Experimental-Mechanik gute Dienste, um die Schnelligkeit und das Moment fallender Körper unter verschiedenen Umständen auszumitteln. Er ist unter dem Namen Attwood's Apparat bekannt.

Es besteht ferner ein Zusammentreffen zwischen dieser vermehrten Schnelligkeit und Bewegung und ähnlichen in einem größern enthaltenen Dreiecken. Man theile nämlich die senkrechte Seite eines rechtwinkligen Dreiecks in irgend

eine gegebene Anzahl von gleichen Theilen wie 1, 2, 3, 4, Fig. 3. Taf. 1., und nehme an, daß diese gleiche Zeiträume, z. B. Secunden bezeichnen; alsdann ziehe man von den Endpunkten Parallellinien mit der Basis, mit der Hypotenuse und der senkrechten Cathete, so wird das grosse Dreieck mit kleinen demselben ähnlichen (die in der Figur, um die umgekehrten von den aufrechtstehenden zu unterscheiden, schattirt und weiß sind) gefüllt. Hier sieht man nun, daß in dem ersten Zeitraum, dem Maaße des Falls ein schattirtes Dreieck entspricht. Der, in dem zweiten Zeittheile zurückgelegten Entfernung, entsprechen drei Dreiecke, nämlich zwei schattirte und ein weißes; dieß zu dem ersten addirt, giebt 4 Räume. Der dritte Abschnitt enthält 5 Dreiecke u. s. w.

So wird sich die Sache verhalten, wenn die einfache Schwerkraft allein auf einen sich bewegenden Körper wirkt; wenn dagegen ein Stein in horizontaler Richtung abgeworfen wird, so werden auf diesen zwei Kräfte einwirken, nämlich die Muskelkraft der Hand, welche ihn in horizontaler Richtung vorwärts stößt, und die Schwerkraft, welche ihn unaufhörlich nach der Erde niederzieht. So oft sich nun ein Körper vermöge zwei oder mehrerer, zugleich, aber in verschiedener Richtung auf ihn einwirkenden Kräfte bewegt, oder mit andern Worten, sich unter dem Einfluß einer nicht einfachen, sondern zusammengesetzten Kraft befindet, wird er nicht dem Zuge einer einzigen von diesen Kräften folgen, sondern sich in einer mittlern oder diagonalen Richtung bewegen, die der Quantität der verschiedenen Kräfte angemessen ist. Fahren diese Kräfte gleichförmig fort zu wirken, so wird diese diagonale Linie eine gerade seyn; erleidet dagegen die eine oder auch wohl beide eine Veränderung, so wird eine gekrümmte Richtung der Bewegung die Folge davon seyn.

Sind also zwei fortgesetzte Kräfte einander gleich und wirken sie unter rechten Winkeln auf einen Körper a Fig. 4. Taf. I.; so kann man diese Kräfte durch zwei gerade Linien von gleicher Länge a d, a c, darstellen, die sich unter einem rechten Winkel schneiden; in diesem Falle wird Körper a sich nicht nach d oder c, sondern in der Richtung der geradlinigten Diagonale a b, hin bewegen; deren Länge und Lage durch Vollendung des Quadrats a d b c, durch die punctirten Linien b d, b c, worauf man aus dem Winkel a nach dem entgegengesetzten die Diagonale a b zieht, dargestellt wird. Gesetzt aber, die zwei Kräfte seyen einander nicht gleich, sondern diejenige, welche den Körper a nach c stößt, z. B. um das Zwei- oder Dreifache stärker, als diejenige, welche ihn nach d treibt; dann muß die Linie a c zwei- oder dreimal so lang als die Linie a d gemacht werden. Die Diagonale wird alsdann nicht mehr mit derjenigen des Quadrats zusammenfallen, sondern wie bei Fig. 5 in einem länglichen Parallelogram beschrieben werden müssen. Dasselbe Verhältniß kann man auf jede zwei Kräfte, nach deren resp. Stärke anwenden.

Wenn die Kräfte nicht gleich groß sind, aber in demselben Verhältnisse zu einander ab- oder zunehmen, so wird eine ähnliche Wirkung hervorgebracht werden. Gewinnt oder verliert aber die eine schneller an Stärke als die andere, so wird wohl eine diagonale Bewegung erfolgen, diese aber eine krumme Linie beschreiben. Wenn man also einen Stein abwirft oder eine Kugel aus einer Flinte schießt, so wird die Kraft des Arms oder des Schießpulvers unaufhörlich durch den Widerstand der Luft vermindert, während die Schwerkraft sich fortwährend gleich bliebe, wenn ihre Wirkung nicht durch den beschleunigten Fall des Körpers vergrößert würde. Die Folge davon ist, daß

diese beiden Kräfte so auf den Körper wirken, daß derselbe ziemlich eine Parabel beschreibt. Fig. 6. a stelle eine eben abgeschossene Kugel vor, so giebt a b die Richtung, in welcher die Schwerkraft sie niederwärts zieht und a c diejenige an, nach welcher das Schießpulver sie vorwärts treibt. Diese beiden Kräfte sind eine der andern hinderlich; allein von a bis c wirkt z. B. die Kraft des Pulvers um so viel stärker, als die der Schwere, daß die letztere beinahe verschwindet und die Kugel sich eine bedeutende Strecke in ziemlich gerader Linie fortbewegt. Da aber die Schwere unablässig wirkt, so kann man annehmen, daß bei c die Kraft des Schießpulvers in so weit erschöpft ist, daß die Kugel nun merklich zu fallen anfängt, und dieß, während sie sich von c bis e vorwärts bewegt, durch irgend einen gegebenen Raum c d thue. Auf ihrem Wege von c bis senkrecht unter e, wird sie die Diagonale c f beschreiben und in dem nächsten gleichen Zeitraum dreimal so tief wie c d, oder von f bis g fallen, während die Kraft des Pulvers in so weit vermindert ist, daß die Kugel nur so weit als h gelangen wird. Wenn man nun die Kugel bei i findet, so wird sie in dem nächsten gleichen Zeitraume um das Fünffache, also bis k sinken und nur bis l gelangen. Da nächst dem ihr Fall das Siebenfache austrägt, so wird sie den Boden bei m berühren, nachdem sie von c bis m, oder während der ganzen Zeit, daß jene zwei Kräfte auf sie einwirkten, einen Theil einer Curve, der sogenannten Parabel, beschrieben hat.

Es kann sonderbar scheinen, daß, wiewohl die Diagonallinien a d in Fig. 4 und 5 und c f i l m in Fig. 6. weit länger sind, als die Linien des Falls (a b in allen Figuren), der bewegte Körper dennoch diese längere Linie genau in derselben Zeit beschreibt, als wenn er bloß von a bis b fiele. Der Grund hiervon liegt darin, daß

die Schnelligkeit der Bewegung immer der Kraft, welche dieselbe hervorbringt, angemessen ist. Wenn daher in einer von diesen Figuren z. B. Fig. 4., wo die Kräfte gleich sind, a d auf a in der Richtung von a c statt unter einem rechten Winkel wirkte; so würde a dadurch in der nämlichen Zeit doppelt so weit gelangen, als wenn die Kraft a c allein wirkte. Wenn aber auf der andern Seite a d in gerader entgegengesetzter Richtung wie a c, oder in der Richtung c a einwirkte, so würde a sich ganz und gar nicht bewegen, indem die zwei gleichen Kräfte sich in diesem Falle aufheben würden. Da sie aber unter einem rechten Winkel in Bezug auf einander wirken, so können sie sich nicht gegenseitig zerstören, sondern sie bringen vereinigt die Wirkung hervor, daß die Bewegung von a bis b so beschleunigt wird, daß die Diagonale in derselben Zeit zurückgelegt wird, wie wenn sich der Körper, von einer einfachen Kraft fortgetrieben, längs einer der Seitenlinien hin bewegte. Jemehr sich also die Richtungen der beiden Kräfte nähern, desto länger muß die Diagonale, desto schleuniger die Bewegung werden. Nie kann sie indeß eine solche Schnelligkeit erreichen, als wenn beide Kräfte nach einer Richtung hinwirken. Dieß wird durch die Ansicht der Fig. 7. anschaulich gemacht, wo die die verschiedenen Kräfte bezeichnenden Linien dieselbe Länge haben wie in Fig. 4., aber mit einander keinen rechten Winkel bilden, sondern sich so nähern, daß das Parallelogram der Kräfte aus einem Quadrat ein Rhomboid und die Diagonale beinahe doppelt so lang wird, als im Quadrate.

Die Wirkung einer zusammengesetzten Kraft, oder die dadurch hervorgebrachte Bewegung kann füglich durch eine kleine Maschine erläutert werden, die aus zwei leichten hölzernen Rahmen besteht, welche über einander hingleiten. An dem einen Rahmen ist ein senkrechter Draht ange-

bracht, an dem sich eine Kugel hin und her schieben läßt. Von dieser letztern, geht nach dem andern Rahmen eine Schnur. Wenn nun die Rahmen bewegt werden, so bildet diese Bewegung die eine Kraft und der Zug der Schnur die andere; und man wird sehen, wie die Kugel, während sie vom Boden nach dem Obertheil des einen Rahmens hinauf steigt, sich durch die Diagonale des andern bewegt. Fig. 8. stellt diesen kleinen Mechanismus dar.

In einem einzigen Falle scheint ein beweglicher Körper auf den ersten Blick sich nicht in paraboliſcher Krümmung zu bewegen; wenn nämlich ein Stein, oder irgend ein Körper so senkrecht in die Höhe geworfen wird, daß er gerade auf die Stelle herabfällt, von welcher er aufstieg. Aber selbst dann muß er eine krumme Linie beschrieben haben, sonst würde er, da die Erde während seines Aufsteigens und Falles ihre ungeheuer schnelle drehende Bewegung fortsetzt, zurückbleiben und nicht auf dieselbe Stelle niederfallen. Gerade diese schleunige Bewegung der Erde ist es, welche in Verbindung, anfangs mit der hinantreibenden Kraft und der Schwerkraft und dann mit letzterer allein die zusammengesetzte Kraft bildet, die alsdann auf den Körper wirkt. Denn während die Schwerkraft den Körper nach dem Mittelpunkt der Erde zieht, erzeugt die Bewegung der Erde um ihre Axe eine mit jener einen rechten Winkel bildende Centrifugalkraft, und der Erfolg davon muß eine krummlinigte Bewegung des Körpers seyn.

Die Bewegung der Erdoberfläche um die Erdaxe trägt, selbst unter dem hohen Breitegrad von London, in einer Secunde 950 Fuß aus. Da dieselbe von W. nach O. vor sich geht, so würde ein Stein, den man nur so hoch würfe, daß er eine Secunde zum Aufsteigen und Niederfallen brauchte, wenn dieß in derselben geraden Linie geschähe, 950 F. westlich von der Stelle, wo er aufstieg, den Boden erreichen.

Wegen der vierten Eigenschaft der Materie kann jedoch dieß nie der Fall seyn. Denn dem Stein ist, wie allen auf der Oberfläche der Erde befindlichen Körpern, die Bewegung dieses Weltkörpers mitgetheilt. Wenn also a in Fig. 9. den nach b scheinbar in gerader Richtung in die Höhe geworfenen Stein bezeichnet, so wird dieser dennoch keine gerade, sondern eine krumme Linie a b beschreiben, in derselben Curve herabfallen und bei c auf den Boden gelangen. Während nun der Körper in der Luft die Linie a b c beschreibt, wird die Stelle a auf der Oberfläche der Erde nach c gelangt seyn und der Körper folglich auf dieselbe zurückgelangen. Dem Bewohner der Erde, dem gleichfalls die Bewegung derselben mitgetheilt ist, scheint der Stein in gerader Linie aufzusteigen und niederzufallen, und die Curve würde nur von einem festen außerhalb der Erde befindlichen Standpuncte, welcher nicht existirt, bemerkbar werden. Man kann sich indeß durch einen analogen Fall die Sache im Kleinen anschaulich machen. Wenn man eine Kugel von der Spitze des Mastes eines schnell seegelnden Schiffes fallen läßt, so wird diese nicht, wie man glauben dürfte, hinter demselben in die See, sondern an der Basis des Mastes auf das Verdeck fallen. Der Schiffsmannschaft scheint sie eine gerade Linie zu beschreiben, während der am Ufer stehende Beobachter deutlich bemerkt, daß sie sich in einer krummlinigten Richtung bewegt.

Wenn die auf einen Körper wirkenden Kräfte, wie in den zuletzt angeführten Fällen, denselben einerseits nach einem Mittelpunkt ziehen und andererseits ihn nach einer Richtung treiben, welche mit der ersteren Kraft einen rechten Winkel bildet, so nennt man solche zwei Kräfte die Centripetal- und Centrifugalkraft. Ihre vereinigte Wirkung wird eine kreisförmige Bewegung hervorbringen.

So soll Fig. 10. S die Sonne und E die Erde anzeigen. Die anziehende Kraft, welche die Sonne auf die Erde ausübt, wird die, durch die Linie E a S dargestellte Centripetalkraft seyn, während die Centrifugalkraft, oder das Bestreben der Erde, sich von dem Mittelpunkt zu entfernen, durch die Linie E c anschaulich gemacht wird. Zufolge dieser beiden Kräfte wird sich die Erde in der gekrümmten Diagonale E b e bewegen und nach e gelangen; allein hier wird gleichfalls eine Centripetalkraft S d e und eine Centrifugalkraft e f einwirken und die Erde also nach g getrieben werden u. s. f., bis sie den ganzen Zirkel beschrieben hat und wieder bei E angelangt ist. Da nun die Kräfte in dergleichen Fällen unaufhörlich wirken, so wird der Körper E sich ewig in dem Kreise E b e g herumdrehen. Aus dem Obigen kann man sich eine allgemeine Ansicht von der Bewegung der Planeten aneignen. Es ist dabei jedoch noch mehr zu berücksichtigen, was wir in dem, der planetarischen Bewegung gewidmeten Abschnitte bei Gelegenheit der Astronomie nachtragen werden.

Durch das Pendel, ein eben so einfaches als wichtiges Instrument, werden wir in den Stand gesetzt, eine genaue mechanische Eintheilung der Zeit zu bewirken; dieß beruht auf den Gesetzen, welchen ein fallender Körper, auf den zwei Kräfte zugleich wirken, unterliegt. Ein einfacher Stab ist an seinem obern Ende so aufgehangen, daß er hin und her schwingen kann; an seinem untern Ende befindet sich ein Gewicht oder auch nicht; diese Vorrichtung nennt man ein Pendel. Wie man das Instrument gewöhnlich anwendet, ist es mit einem Gewicht versehen. Der Werth des Pendels beruht darauf, daß alle seine Schwingungen, so lange sie sich über denselben Raum erstrecken, und die Länge des Stabs nicht vergrößert wird,

genau in derselben Zeit vollbracht werden. Aus der Beschreibung des Instrumentes ergiebt sich, daß das an dem Pendel angebrachte Gewicht den Abschnitt eines Kreises beschreiben wird. In Fig. 11. sey h der Punkt, an dem das Instrument hängt, i der Stab, und k werde von der Stelle, wo es sich im Zustand der Ruhe befindet, bis l erhoben, so wird es sogleich von l bis k zurückfallen und dadurch soviel an Moment (siehe unten) gewinnen, daß es bei k nicht stille stehen kann, sondern sich bis m bewegen wird, welches fast so weit zur Rechten der senkrechten Linie h i k, als l zur Linken derselben liegt. Sobald die Kraft, welche das Gewicht bis m trieb, erschöpft ist, wird es wieder gegen l zurückkehren, u. s. f., aber bei jeder folgenden Schwingung an Kraft verlieren, bis es in k wieder zur Ruhe gelangt.

Das Pendel gehört also nicht zu dem forttreibenden Mechanismus einer Uhr, sondern ist bloß der Zeitmesser, und die Kraft des Gewichts oder der Feder, durch welche diese Maschinen in Bewegung gesetzt werden, kommt ihm selbst zu Gute, damit seine Schwingungen fortdauern können. Dieß geschieht durch die sogenannte Hemmung.

Die Schwingungen des Pendels werden durch dessen Bestreben zu fallen hervorgebracht. So sey in Fig. 11. die Linie h i k senkrecht und n o horizontal; wenn nun das Gewicht von k nach l erhoben wird, so wird es sich eigentlich um das senkrechte Maaß l n höher befinden und durch die krumme Diagonale l p k von l nach k in derselben Zeit und mit derselben Beschleunigung der Bewegung herabsteigen (vergl. S. 31.), als wenn es gerade zu von l bis n fiele. Wenn daher das Pendel sehr lang ist, so daß sich der Bogen, durch welchen es schwingt, einer geraden Linie nähert, so wird die Entfernung l n so gering seyn, daß zwischen einer ausgedehnten und kurzen

Schwingung in Bezug auf die Zeit wenig Unterschied stattfindet. Bei kurzen Pendeln ist der Unterschied jedoch erheblicher. In der Praxis wird jedoch selten Rücksicht hierauf genommen; denn wenn man annimmt, die Schwingungen erstreckten sich nur von p bis q, so würde nun die Kraft des Falles durch den Abstand dieser beiden Punkte von der Linie n o bezeichnet werden.

Die Zeiten, deren Pendel bedürfen, um ihre Schwingungen zu vollenden, verhalten sich wie die Quadratwurzeln ihrer Länge, ohne daß auf das Gewicht, mit welchem sie beschwert sind, etwas ankommt. Die effective Länge, ist der Abstand des Aufhangspunktes vom sogenannten Schwingungspunkt (centrum oscillationis). Hierunter versteht man denjenigen Punkt in dem Pendel, welcher eben so schwingt, wie er schwingen würde, wenn er der einzige wäre. Man kann den Schwingungspunkt also nur durch eine Rechnung bestimmen, welche auf die Quantität und Gestalt des Gewichts und des Stabs, an dem es hängt, Rücksicht nimmt. Wenn dieß Gewicht, wie dieß gewöhnlich bei unsern Pendeln der Fall ist, die Gestalt einer runden Scheibe hat, und im Verhältniß zu dem Stabe sehr schwer ist, so wird der Mittelpunkt der Schwingungen nicht weit von dem Mittelpunkt der Scheibe fallen; nimmt man dagegen bloß einen durchgehends gleich dicken Stab, so wird jener Punkt nur um $\frac{2}{3}$ der ganzen Länge vom Aufhangspunkte entfernt seyn.

Da die Bewegung der Erde, wie wir später zeigen werden, auf die Schwingungen des Pendels Einfluß hat, so müssen die Pendel unter verschiedenen Breitegraden von verschiedener Länge seyn, wenn sie dieselben Schwingungen in derselben Zeit vollbringen sollen. (Vergl. die Art und Weise, wie man die Gestalt der Erde ausmittelt). Man

hat lange angenommen, daß in der Breite von London, oder unter 51° 32′ die Länge eines Secundenpendels, oder eines solchen, welches 60 Schwingungen in der Minute macht, $39\frac{2}{10}$ Zoll betragen müsse; allein nach den neuern schätzbaren Untersuchungen des Cap. Kater, die in den Philosophical Transactions auseinandergesetzt sind, ist die Länge eines solchen Pendels zu London nur auf 39,13829 Zoll festgesetzt. Da sich nun die während der Schwingungen verstreichenden Zeiten, wie die Quadratwurzeln der Längen verhalten, so wird ein Pendel, welches halbe Secunden schwingt, nicht halb so lang, sondern nur $\frac{1}{4}$ so lang seyn, oder 9,7845 Zoll halten; ein solches, welches binnen 2 Secunden eine Schwingung macht, müßte dagegen vier Mal so lang seyn, als ein Secundenpendel. Wenn man also ein Pendel dazu gebrauchen will, daß es die Zeit einer Uhr in gewisse Abschnitte theilt, so muß man dessen Länge mit großer Sorgfalt abmessen; denn wiewohl der Unterschied bei ein paar Schwingungen kaum bemerkbar seyn dürfte, so wird doch, da der Secundenpendel binnen 24 Stunden nicht weniger als 86,400 Schwingungen macht, die Abweichung mit dieser Zahl multiplicirt werden und dieß binnen wenigen Tagen einen merklichen Fehler im Gange der Uhr hervorbringen. Damit man dergleichen Abweichungen berichtigen könne, sind gewöhnlich die Pendel so vorgerichtet, daß sich das Gewicht auf- und niederschrauben läßt, wodurch man das Pendel verlängert oder verkürzt und dessen Schwingungen langsamer oder geschwinder macht. Wenn man mit diesen Schrauben gehörig verfährt, so kann man den Gang jeder Uhr darnach berichtigen.

Bei den bessern Arten von Uhren, oder denjenigen, deren man sich bei der Astronomie bedient (siehe den Artikel Länge bei der Astronomie), würde diese Berichtigung

keine Anwendung finden; indem solche Uhren ganz unbrauchbar wären, wenn man sich auf deren richtigen Gang nicht verlassen könnte. Da die Länge des Pendels durch die natürlichen Wechsel der Temperatur und Dichtigkeit der Atmosphäre verändert wird, so hat der menschliche Scharfsinn mancherlei Vorrichtungen erfunden, durch welche die Länge des Pendels sich unter allen Umständen gleich bleibt. Ein Pendel, bei dem dieß der Fall ist, nennt man ein Compensationspendel. Ein geradfasriger Stab von Tannenholz, welcher nach der Richtung der Fibern gespalten und frei von Knoten ist, bewährt sich gegen die verschiedenen Grade von Wärme in Bezug auf Ausdehnung unempfindlicher, als irgend eine andere bekannte Substanz, und deßhalb braucht man jenes Material sehr häufig zu Pendelstäben. Zu den besten und genauesten Vorrichtungen der Art, gehört das Gridiron- oder rostförmige Pendel, welches seinen Namen von der Anordnung der Stäbe hat, und das Queckſilberpendel, welches der bekannte Georg Graham erfand und in den Philosophical Transactions für's Jahr 1726 beschrieb.

Fig. 12. Taf. II. stellt die allgemeine Gestalt des rostförmigen Pendels dar. Es besteht dieß gemeiniglich aus fünf Stäben, von denen die beiden äußern f f und der mittelste von Stahl oder Eisen; die beiden dazwischen liegenden mit punktirten Linien angegebenen aber von Messing sind. Das Gewicht a ist auf die gewöhnliche Art an den mittelsten stählernen Stab angeschraubt, und dieser geht uneingeengt durch das zu unterst befindliche Stück Metall c; während das obere Ende in das obere Stück b geschraubt ist, welches letztere auf den zwei messingernen Stäben ruht, deren untere Enden in das c Stück geschraubt sind. Dieß letztere wird von den zwei äußern stählernen Stäben f f gehalten, und ist mit dem obern

Ende in d eingeschraubt. In der Mitte von d ist die Stahlfeder e befestigt, durch welche das ganze Pendel getragen wird. Vermöge dieser Einrichtung, werden sich bei höherer Temperatur die zwei äußern und der mittlere stählerne Stab nach unten hin, die zwei messingernen Stäbe aber nach oben hin verlängern. Da sich nun Messing bei demselben Wärmegrad verhältnißmäßig weit stärker ausdehnt als Stahl, so halten die kürzern Stäbe von dem ersten Material den längern vom letztern in dieser Hinsicht vollkommen das Gleichgewicht. Wenn also das Instrument gut gearbeitet ist, so werden der Aufhangspunkt und der Schwingungspunkt, ohne daß man nöthig hat, an dem Pendel zu stellen, immer gleich weit von einander entfernt seyn.

Fig. 13. erläutert die Gestalt des Queckſilberpendels nach der neuesten Verbesserung; g h ist ein gerader stählerner Stab, der an dem untern Ende mit einer Schraube versehen ist, die sich durch den metallenen Hut i genau windet. In diesen letztern ist der Glascylinder k, der durch einen lockern hölzernen Deckel vor Staub beschützt wird, eingekittet. Der Cylinder ist 6 — 8 Z. hoch und mit dem, das untere Gewicht bildenden Queckſilber gefüllt, und da dieß Metall sich durch die Wärme sehr stark ausdehnt, so wird die angegebene Menge davon, bei gleichen Temperaturen immer um so viel in die Höhe gehen, als sich der stählerne Stab niederwärts ausdehnt und so die effective Länge des Pendels sich stets gleich bleiben.

Da das Pendel einen festen Punct, an dem es aufgehängt werden kann, voraussetzt, so wird's unmöglich, sich desselben auf der See bei den Chronometern zu bedienen, welche zur Bestimmung der Länge gebraucht werden. Dergleichen Instrumente müssen also mit Unruhen, wie sie bei den gewöhnlichen Taschenuhren gebräuchlich sind, versehen

werden; nur daß sie von Messing und Stahl so vorgerichtet sind, daß sie demselben Zweck entsprechen, wie das zusammengesetzte oder rostförmige Pendel. Denn die Unruhe spielt in einer Taschenuhr dieselbe Rolle, wie das Pendel bei der Wanduhr, und wenn dieselbe bei allen Temperaturen denselben Durchmesser behält, so werden ihre Schwingungen durch gleiche Abschnitte eines Kreises isochronisch seyn. Vorrichtungen, welche diesem Zwecke entsprechen, nennt man Compensationsunruhen; allein es hält wegen der ungleichen Wirkung der Feder und Räder schwer, daß die Schwingungen gleiche Bögen beschreiben, daher man sich der abgesonderten Stoßwerke bedient. Diese sind von dem regelmäßigen Gange des Räderwerks in so weit abgesondert, daß sie nur einen augenblicklichen und gleichförmigen Antrieb, statt eines fortwährenden und unregelmäßigen erhalten. Die Unruhe ist indeß in keinem Falle so richtig, als das Pendel, weil sie zu ihrer rückgängigen Bewegung einer Feder bedarf, und sie sehr fein gearbeitet seyn muß, damit sie nicht durch ihre Schwere zu Friction Veranlassung giebt und nicht viel Widerstand von Seiten der Materie zu überwinden hat. Da das Rad also klein gemacht werden muß, so sind dessen Schwingungen schnell, und wenn sie also nicht gleichzeitig von Statten gehen, so muß durch die vervielfältigte Abweichung eine bedeutende Unregelmäßigkeit in dem Gange der Maschine, zu der es gehört, entstehen. Wegen dieses und manchen andern Grundes, hält es so äußerst schwer, Chronometer zu verfertigen, welche bei dem Seewesen die gewünschten Dienste leisten.

Ehe wir zu einem andern Gegenstand übergehen, können wir füglich Einiges über Maaß und Gewicht und die Mittel erinnern, wie man Normalgewichte und Maaße, durch die man die Richtigkeit anderer prüft, herstellt; indem

das Pendel das einfachste und zweckmäßigste Mittel darzubieten scheint, wie man zu diesem Zwecke gelangen kann. Die Anforderungen, die man an ein solches Normalmaaß macht, sind: daß es einfach sey und daß es jeder, der es braucht, sich leicht verschaffen und ein neues und richtiges dergleichen herstellen könne, ohne daß irgend ein früher existirendes, welches verloren oder zerstört seyn dürfte, dazu nöthig ist. Daß es ferner sich nicht abnutze, oder seine Dimensionen durch die Temperatur oder irgend eine andere Ursache verändere. Bei geringem Nachdenken, wird man finden, daß das Gewicht eigentlich im Maaße begriffen ist, denn unmöglich kann man von irgend einem Körper ein gewisses Gewicht bilden, ohne daß man auf den Umfang Rücksicht nimmt. Die Wörter Pfund oder Unze, können Niemandem einen deutlichen Begriff von der effectiven Kraft dieser Gewichte geben, der jene nicht früher in Erfahrung gebracht hat. Wenn man aber angiebt, 4 Cubikzoll Gußeisen von besonderer specifischer Schwere, stehen im Gewicht einem Pfunde gleich, oder ein Cubikfuß destillirtes Wasser oder reines Regenwasser, wiege 1.000 Unzen, so kann ein jeder, der solche Maaße besitzt, auch sogleich die Gewichte darstellen, und daher ist ein Normalmaaß der Dimensionen von der höchsten Wichtigkeit, weil nach ihm Gewichte jeder Stärke hergestellt werden können.

Höchst unbestimmt und unbefriedigend war die Art und Weise, wie ursprünglich in England die Maaße entweder von Producten aus dem Pflanzenreich, oder Theilen, auch wohl Verrichtungen des menschlichen Körpers entlehnt worden, da solche Bestimmungen durch eine Menge von Ursachen Veränderungen erleiden mußten, und doch finden wir, daß unser Zoll auf die Art entstand, daß man drei Gerstenkörner mit den Spitzen an einander legte. Eine

Acte Heinrich III. verordnet, um in die Gewichte des Reichs Gleichförmigkeit zu bringen, solle künftig diejenige Quantität von Metall, welche 32 trockene, mitten aus der Aehre genommene Waizenkörner aufwiegt, das Gewicht eines Penny haben; 20 der letztern sollten einer Unze und 12 Unzen einem Pfunde gleich stehen. Nach demselben Gesetz gehen 8 Pfund Wein auf eine Gallone; 8 Gallonen auf einen Bushel u. s. f. Man sieht auf den ersten Blick, wie ungenau diese Bestimmungen sind, und überdem sollte in keinem Falle ein Maaß oder Gewicht durch Vervielfältigung seines kleinsten Grundbestandtheils aufgesucht werden müssen; denn die Abweichung kann bei diesem letztern so gering seyn, daß sie nicht bemerkt wird und doch bei Vervielfältigung derselben in großen Quantitäten eine bedeutende Differenz entstehen. Wahrscheinlich um diesem zu begegnen, wurde der Sächsische Gyrd, welcher dem jetzigen Yard entspricht, als ein schickliches Maaß der Einheit eingeführt; Faden, Furlongs (der achte Theil einer Engl. Meile) und Meilen entstanden aus der Vervielfältigung des Yards; während der Fuß, die Spanne, die Handbreite, der Zoll, als Brüche des Maaßes der Einheit angesehen werden konnten. Doch herrschte in allen diesen Maaßen eine bedeutende Ungewißheit, bis Heinrich I. festsetzte: daß der Yard dieselbe Länge haben solle, wie sein eigener Arm; während der Fuß, der Cubitus, die Elle, die Spanne, die Handbreite, die Handlänge und viele andere Maaße augenfällig vom menschlichen Körper entlehnt wurden. Erst zur Zeit Heinrich VII. widmete man jedoch einer gründlichern Festsetzung der Maaße und Gewichte mehr Aufmerksamkeit; indem durch ein Rescript verordnet wurde, daß in der Schatzkammer eine Sammlung der genauesten und zweckmäßigsten Maaße und Gewichte, nach welchem diese im ganzen Lande eingerichtet werden sollten,

angelegt werden sollte. Seitdem ist man nie von dieser Vorschrift abgewichen, hat auch mit der größten Genauigkeit Doubletten von diesen Normalmaaßen verfertigen lassen und im Tower bei der Royal Society und an andern sichern Orten niedergelegt; um wo möglich zu verhindern, daß sie je verloren oder verändert würden.

Dieser Vorsichtsmaaßregeln ungeachtet, wäre es nicht unmöglich, daß diese Normalmaaße sämmtlich verschwänden, und wäre dieß der Fall, so könnte man sie, als willkührlich angenommene Maaße, unmöglich genau wieder herstellen, wenn man nicht ein Normalmaaß der Vergleichung bestimmt; die einzige Art und Weise wie dieß geschehen kann, scheint die Ausmessung eines größten Kreises der Erde, oder der Länge des Pendels zu seyn.

Die erstere dieser Aufgaben dürfte jedem, dem es unbekannt ist, daß sie wirklich schon mehrere Mal gelöst worden, auf den ersten Blick unausführbar scheinen. Wir werden, wenn wir von der Gestalt der Erde handeln, darauf zurückkommen. Sie verlangt jedoch höchst genaue Instrumente und Beobachtungen, und verursacht so viel Kosten und Umstände, daß nicht leicht ein Privatmann sich deren Ausführung unterziehen kann; während das Pendel mit verhältnißmäßig geringem, oder fast gar keinem Aufwande an Zeit und Geld beobachtet und gemessen werden kann. Die Französische Nation entschied sich für das erstere Auskunftsmittel. Die ausgezeichnetsten Mathematiker derselben beschäftigten sich viele Jahre mit höchst schwierigen und genauen Untersuchungen und fanden zuletzt, daß der Quadrant eines Meridians, der sich vom Pol bis zum Aequator erstreckt 5,130,740 Toisen messe. Der 10,000,000ste Theil dieses Quadranten wurde zuletzt von dem gesetzgebenden Körper als das Metre oder Normalmaaß der Einheit, nach welchem alle übrigen, entweder größere oder kleinere

Maaße eingerichtet werden sollten, festgesetzt. Dieses Metre ist ziemlich so lang wie ein Secundenpendel und kann als die gegenwärtige Elle der Franzosen betrachtet werden; 10 Metres gehen auf ein Decameter; 10 Decameter gehen auf einen Hektometer; 10 von den letztern auf das Kilometer, und von diesem geben 10 das Myriameter *).

Die Art und Weise, wie man sich des Pendels bedient, um ein Normalmaaß zu erhalten, ist sehr einfach. Es ist bewiesen, daß zwar die Sonne ihren scheinbaren Weg um die Erde von O. nach W. in jeden 24 Stunden mit einiger Unregelmäßigkeit, die Sterne aber, denselben binnen 23 Stunden 56 Minuten mit der größten Regelmäßigkeit vollbringen und so ein Unterschied zwischen einem Sonnen- und Sternentage entsteht. Befestigt man nun ein kleines Telescop unbeweglich an eine Mauer in einer solchen Richtung, daß irgend ein glänzender Fixstern durch dasselbe sichtbar wird, so wird derselbe binnen jeden 23 Stunden 56 Minuten ein Mal durch das Instrument gehen. Wenn man darneben eine Uhr, die mit einem Pendel, dessen Schwingungen eine Secunde dauern, versehen ist, anbringt, so wird dieselbe, zwischen jedem Vorübergange des Sterns den obigen Zeitabschnitt anzeigen, wenn das Pendel die richtige Länge hat. Ist dieß nicht der Fall, so muß es verlängert oder verkürzt werden, bis es die richtige Zeit hält, welches es unter demselben Breitegrad nur bei einer bestimmten Länge thun kann. So wird man sich zu jeder Zeit ein Längen-Normalmaaß verschaffen können, welches man zum Metre oder zu dem Grundmaaße, nach welchem alle übrigen eingerichtet werden, erheben dürfte. Wendet man dagegen ein, daß es viel Schwierig-

*) Die Unterabtheilungen des Meter sind ($\frac{1}{10}$) Decimeter ($\frac{1}{100}$) Centimeter und ($\frac{1}{1000}$) Millimeter.

keit habe, die Lage des Mittelpunkts der Schwingungen genau zu bestimmen, so braucht man das Pendel bloß aus einem geraden, gleich dicken Stabe ohne Gewicht bestehen zu lassen, den man leicht messen könnte, und man müßte dann von dem erhaltenen Maaß nur $\frac{1}{3}$ abrechnen, um das Normalmaaß zu erhalten *).

Hat man sich ein genaues Normalmaaß, um Linien zu messen, verschafft, so würde man daraus Maaße des Inhalts oder der Capacität sowohl als Gewichte bilden können. Da nun reines Regenwasser durch die Temperatur verhältnißmäßig sehr geringen Wechsel in der Dichtigkeit und specifischen Schwere erleidet (siehe den Abschnitt über die Hydrostatik), so scheint sich diese Substanz dazu zu eignen, um ein Normalgewicht zu bilden. Ein Cubikfuß reines Wasser wiegt z. B. 1,000 Unzen, und entweder dieses Maaß, oder der Würfel von der Länge des Pendels, oder irgend eines Theiles derselben, könnte als die Grundgröße angenommen werden, aus deren Bruchtheilen man größere und kleinere Gewichte bildete. Dieß müßte bei einem gewissen Barometer- und Thermometerstand geschehen. Auf diese oder ähnliche Weise könnte man eine Reihe von Maaßen und Gewichten herstellen, die ein jeder mit einem wenig kostbaren Apparat und geringem Zeitaufwande nachbilden und untersuchen könnte; während die Maaße und Gewichte, deren wir uns gegenwärtig bedienen, so ungenau sind, daß man eigentlich keine andere Bürgschaft von deren Richtigkeit hat, als die Gewissenhaftigkeit ihrer Verfertiger, wenn sie nicht etwa mit den der Nation zustehen-

---

*) Will man sich über das wissenschaftliche und genaue Verfahren unterrichten, durch welches Cap. Kater (Mitglied des Royal Society) die Länge des Pendels ausmittelte, so vergleiche man die Philosophical Transactions für's Jahr 1818.

den Normalmaaßen verglichen wurden, was bei der großen Anzahl derselben, die beständig gefertigt und verkauft werden, nicht zu erwarten steht.

Anmerkung. — Um sehr kleine Gewichte, z. B. Theile eines Gran's zu erhalten. nimmt man einen dünnen Kupfer- oder andern Draht, z. B. Clavierdraht, theilt ihn der Länge nach mit dem Zirkel, in die gewünschte Anzahl von Abschnitten, und durchschneidet ihn mit der Scheere; so wird man ein recht genaues Gewicht erhalten.

Vom Moment.

Wenn man vom Gewicht eines Körpers redet, so versteht man darunter jederzeit den Druck, welchen er im Zustande der Ruhe ausübt, oder wenn seine Bewegung so langsam ist, daß sie keine Beschleunigung erfährt; denn im andern Falle wird das scheinbare Gewicht oder die effektive Kraft eines solchen Körpers durch dessen Moment nach Maaßgabe der Schnelligkeit seiner Bewegung vermehrt. Wenn wir die absolute Kraft eines Gewichts, durch welches eine Maschine in Bewegung gesetzt werden soll, berechnen, so dürfen wir also nicht lediglich auf die Schwere desselben, sondern wir müssen auch auf dessen Schnelligkeit Rücksicht nehmen; denn wenn es sich bei einer gewissen Schnelligkeit oder binnen einer gewissen Zeit durch einen gegebenen Raum bewegt und so eine gewisse Wirkung hervorbringt, so wird es den doppelten Effekt bewirken, wenn es sich in der Hälfte der frühern Zeit durch denselben Raum bewegt; oder mit andern Worten, es wird dieselbe Wirkung thun, wenn es sich mit der doppelten Schnelligkeit durch die Hälfte des frühern Raums bewegt. Das Moment oder die Kraft des bewegten Körpers erhält man, wenn man das Gewicht oder die Quantität der Materie mit der Schnelligkeit der Bewegung multiplicirt und so

kann ein kleiner, aber in schleuniger Bewegung befindlicher, Körper dieselbe Wirkung hervorbringen, wie ein weit größerer oder schwererer, dessen Bewegung langsam vor sich geht. Man nehme z. B. an, eine zehnpfündige Kanonenkugel lege 100 Fuß zurück, und eine kleine zweipfündige Kugel durchschneide in derselben Zeit 500 Fuß Raum. Will man nun deren effektive Kräfte, welche dieselben gegen irgend einen Widerstand hervorbringen, vergleichen, so multiplicire man die 10 Pfunde mit deren Schnelligkeit 100, dieß ergiebt 1000, welches gleichfalls das Product der beiden andern Factoren, 2 und 500, ist. Daraus geht hervor, daß der kleinere Körper dem größern vollkommen das Gleichgewicht halten wird. Bei dem erstern ersetzt die schnellere Bewegung das, was an Materie abgeht; bei dem letztern wird die geringere Bewegung durch den Ueberschuß an Materie aufgewogen. Auf diesem Princip beruht die Wirkung aller mechanischen Kräfte, wie wir bei jeder einzelnen zeigen werden. Ehe wir jedoch zu diesen übergehen, wird es nöthig seyn über den sogenannten Schwerpunkt der Körper einige Bemerkungen mitzutheilen.

Dritter Abſchnitt.

Mechanik.

Vom Schwerpunkt.

Wiewohl jedes von den beſondern Theilchen aus denen ein Körper zuſammengeſetzt iſt, von der anziehenden Kraft der Schwere in Anſpruch genommen wird und deßhalb Gewicht haben muß, das Gewicht ſämmtlicher Körper alſo durch ihre ganze Maſſe vertheilt iſt, ſo befindet ſich doch in jedem feſten Körper ein einziger Punkt, in welchem deſſen ganzes Gewicht concentrirt zu ſeyn ſcheint und dieſen nennt man den Schwerpunkt. Wenn daher dieſer Punkt unterſtützt iſt, ſo kann der Körper nicht fallen, und ſo oft Körper nur vermöge der Schwerkraft fallen, wird dieß in der Richtung einer geraden Linie geſchehen, welche deren Schwerpunkt und den Mittelpunkt der Erde ſchneiden würde und deßhalb die Richtungslinie genannt wird. Da nun ſämmtliche Körper fortwährend ein Beſtreben zu fallen äußern, ſo wird ihr Schwerpunkt in jedem Falle in dieſe Linie oder ſenkrecht unter dem Aufhangspunkte zu liegen kommen, wenn ſie nämlich den gehörigen Spielraum haben und an irgend einem andern Punkte als dem Schwerpunkte ſelbſt befeſtigt ſind.

Um sich einen deutlichen Begriff von der Natur des Schwerpunktes und von der Ursache zu machen, vermöge deren das Gewicht in ihm concentrirt zu seyn scheint, so denke man sich, Fig. 14 a, b, stelle einen geraden hölzernen oder metallnen, durchgehends gleich dicken Stab vor; c sey die Mitte; wenn der Stab nun gerade unter dem Mittelpunkte c auf die Spitze einer Nadel oder den Punkt d gelegt wird, so wird er im Gleichgewicht gehalten oder ohne irgend eine andere Beihülfe getragen werden. Denn da die Schwerkraft in Verhältniß der Materie wirkt und wir angenommen haben, daß zwischen b und c sich gleichviel davon befinde, so folgt daraus, daß das Ende a mit einer Kraft niedergezogen wird, welche derjenigen ganz gleich ist, die auf das Ende b wirkt. Daher muß ein Gleichgewicht entstehen, wobei die ganze Schwere von a b scheinbar in dem Punkt c, als demjenigen, unter welchem das Gleichgewicht stattfindet, vereinigt ist. Dieser ist daher nicht nur der Mittelpunkt des Stabes, sondern auch der Schwerpunkt.

Lassen wir aber den Stab a b nicht durchgehends aus demselben Material bestehen, sondern das Ende a c sey von Blei oder irgend aus einer schweren Substanz und c b von Holz, so wird a c mehr Materie enthalten, als c b und folglich das Uebergewicht haben, wenn nicht die Spitze d von c nach einem Punkte e gebracht wird, welcher jetzt der Schwerpunkt seyn wird. Auf diesem wird der Stab, wie früher, im Gleichgewicht schweben, obgleich nun der Schwerpunkt nicht mehr mit dem wahren Mittelpunkt des Stabes, der fortwährend bei c bleibt, zusammentrifft. Es folgt daraus, daß der Mittelpunkt der Schwere und der Mittelpunkt der Größe und der Dimensionen ganz unabhängig von einander bestehen, und sie nur dann, wenn der Körper ein regelmäßiger und gleichförmiger,

z. B. eine Kugel, ein Würfel, ein Cylinder u. s. w. ist und in allen seinen Theilen gleiche Dichtigkeit besitzt, zusammentreffen.

Der Schwerpunkt befindet sich indeß nicht jederzeit in dem Mittelpunkt der sämmtlichen Quantität von Materie, die irgend ein Körper begreift. Hierzu giebt Fig. 15 ein Beispiel, wo 5 und 1 zwei Kugeln von ungleicher Größe vorstellen, welche durch einen unbiegsamen Draht verbunden und im Punkte f, welchen wir für den Schwerpunkt gelten lassen, und der auf der Nadel g ruht, unterstützt werden. In diesem Falle soll die größere Kugel 5 und die kleinere 1 Unze wiegen. Die auf beiden Seiten von f befindliche Materie ist daher quantitativ sehr verschieden; dennoch findet Gleichgewicht statt; allein hier kömmt es darauf an, daß der Draht von f bis zum Mittelpunkt der Kugel 1 fünf Mal so lang ist, als von f bis zum Mittelpunkt der Kugel 5; wenn daher 5 um einen Zoll fällt, somuß 1 um 5 Zoll steigen, und umgekehrt. Dem zufolge entsteht ein Moment, welches das Gleichgewicht herbeiführt. Denn obgleich die Körper 5 und 1 ungleich sind, so werden doch die Produkte der Massen multiplicirt mit der Schnelligkeit der Bewegung in beiden Fällen gleich seyn, und folglich ein Gleichgewicht hergestellt werden. Die Schwierigkeit, welche es hat, hohe Körper zu balanciren oder zu stützen, hat ihren Grund in dem Umstand, daß der Mittelpunkt der Schwere immer das Bestreben äußert, unter den Aufhangspunkt zu gelangen. So sey h der Schwerpunkt der rautenförmigen Figur i k l m Figur 16, welche auf einer Nadel, die bei m eingeführt ist, so lange im Gleichgewicht bleiben wird, als der Schwerpunkt h sich senkrecht über dem Stützpunkte m befindet. Ist der Schwerpunkt aber im Geringsten von der Rechten zur Linken, oder umgekehrt, bewegt, so wird der Körper seine aufrechte Stel-

lung verlieren, sich um den Punkt m drehen und unter demselben die durch die punktirte Linie angegebene Lage annehmen. Ihr Schwerpunkt wird jetzt nach n gerade unter m, und in die Linie m o, als der Richtungslinie, oder derjenigen, in welcher der Körper nach der Erde fallen würde, gelangen. Aus demselben Grunde würde es sehr schwer halten, den Stab a c b Fig. 14. so in's Gleichgewicht zu bringen, daß er eine horizontale Lage behält, falls er eine beträchtliche Dicke besäße. Denn wenn seine Enden aufwärts und niederwärts schwankten, so würde der Schwerpunkt c bei jeder Schwingung nach derjenigen Seite der Nadel d versetzt werden, welche dem niedersteigenden Ende zunächst liegt; demzufolge der Körper aufhören, unterstützt zu seyn und fallen. Um diesem Uebelstand bei Waagebalken abzuhelfen, welche, sobald sie sich in horizontaler Lage befinden, stille stehen müssen, bringt man den Aufhangspunkt jederzeit über dem Balken an, wie p Fig. 17. zeigt. Man sieht hier einen gewöhnlichen Waagebalken, bei dem sich der Schwerpunkt in q, gerade unter jenem Punkte, befinden wird, wenn der Waagebalken eine horizontale Lage hat, aber in keiner andern Stellung; daher wird derselbe, wenn er an beiden Enden gleichförmig beschwert ist, stets die horizontale Lage annehmen.

Aus Obigem erhellt, daß man bei jeder beweglichen ebenen Platte, ihre Umrisse mögen noch so unregelmäßig seyn, die Lage des Schwerpunktes sehr leicht ausmitteln könne, wenn z. B. Fig. 18. eine solche Fläche ist und ein Loch in der Nähe irgend eines Endes derselben, z. B. bei r, angebracht wird, durch welches man einen Draht führen kann, so daß sich der Körper frei um dasselbe bewegt, so wird dieser Draht der Aufhangspunkt seyn, und wenn man an demselben eine Lothschnur, wie r s, anbringt, diese die Richtungslinie angeben, welche

sich, wie gesagt, vom Aufhangspunkte nach dem Mittelpunkte der Erde zu erstreckt. Nun wissen wir, daß der Schwerpunkt der unregelmäßigen Platte r t v u unter den Aufhangspunkt gelangen und also sich in der Linie r v befinden wird, welche das Loth anzeigt; man streiche also diese Linie auf der Oberfläche an. Dann macht man an einem andern Ende des Körpers, z. B. bei t, ein Loch, in welches man den Draht und die Lothschnur, wie früher, anbringt. Jetzt erhält man die Richtungslinie t u, in welcher sich gleichfalls der Schwerpunkt befinden muß. Da dieser nun nicht an 2 Stellen zugleich seyn kann, so wird der Durchschnitt w der beiden Linien die wahre Lage desselben anzeigen. Bei unbeweglichen Körpern läßt sich diese Art von Untersuchung nicht vornehmen, und deren Schwerpunkt muß daher nur durch Versuche oder Berechnung, wobei man auf Gewicht, Dichtigkeit und Lage der verschiedenen Materialien Rücksicht nimmt, ausgemittelt werden; alsdann kann man ohne Weiteres wissen, ob ein solcher Körper fest und sicher gestützt sey oder nicht.

Eine alte verfallne Mauer, die man in Fig. 19. sieht, dürfte gefährlich erscheinen; findet man aber durch Berechnung, daß deren Schwerpunkt in x liegt und mittelt man vermöge des Loths aus, daß x y ihre Richtungslinie sey, so kann die Mauer offenbar nicht fallen, wenn der Mörtel hinreichend fest ist, um die Trennung der einzelnen Steine zu verhindern, weil die Linie x y nicht über die stützende Basis z a hinausfällt; reichte sie jedoch jenseits a, so würde die Mauer nicht gestützt seyn und einfallen.

Auf diese Weise ist es möglich, daß Thürme eine hängende Stellung haben können; und hiervon giebt es viele Beispiele. Unter diesen ist das merkwürdigste der Thurm von Pisa in Italien, welcher 182 Fuß hoch ist

und nicht weniger als 16 Fuß von der perpendiculären Linie abweicht. Er steht bereits über 300 Jahr, ohne Schaden gelitten zu haben. Auch 2 Kirchthürme zu Bologna hängen auf die Seite, und man hat dieses Umstands schon vor 1586 gedacht. Zu Corfe-Castle und Caerphilly in Südwales findet man gleichfalls Beispiele der Art.

Der Grund, warum der Kegel und die Pyramide die festesten Figuren sind und warum hohe und oben beladene Fuhrwerke leichter umfallen als niedrige, läßt sich auf dieselbe Art und Weise erklären. Fig. 20 b stellt eine Ladung Steine oder Eisen vor, die auf einem Karren ruht und sich auf einem gewölbten oder abhängigen Weg c d e bewegt. Da sich diese Ladung tief im Karren befindet, so wird bei b der Schwerpunkt und b f die Richtungslinie seyn, welche letztere augenfällig weit innerhalb der beiden Räder g g fällt; deßhalb kann der Karren nicht umwerfen. Allein bei der Ladung h ist der Schwerpunkt weit höher, ungefähr in h befindlich und h i die Richtungslinie, welche jenseits der Basis oder des Rads k zu liegen kömmt, weßhalb die Ladung nicht gestützt ist und umfallen muß.

Viele mechanische Täuschungen lassen sich auf die Weise ausführen, daß man den Schwerpunkt aus seiner natürlichen in eine künstliche Lage bringt oder dessen Lage verbirgt. So kann man machen, daß ein auf die geneigte Ebene gelegter Cylinder bergauf statt bergunter läuft; ein doppelter Kegel scheint bergauf zu laufen, und man stellt viele Gleichgewichte her, welche den Ununterrichteten höchst außerordentlich vorkommen. Im erstern Falle fertigt man einen großen Cylinder aus Holz und versetzt dessen Schwerpunkt vom eigentlichen Mittelpunkt m Fig. 21. nach l, indem man unfern des Randes einen bleiernen Pflock ein-

führt; so wird l n die Richtungslinie, l wird nach n zu fallen und während dem den Cylinder auf eine kurze Strecke die geneigte Ebene o p hinantreiben. Der doppelte Kegel scheint gleichfalls bergauf zu laufen, wiewohl in der That sein Schwerpunkt an dem obern Theile der geneigten Fläche tiefer zu liegen kömmt, als er sich an dem untern befand. Dieß geschieht in Folge der eigenthümlichen Gestalt des Körpers. Der doppelte Kegel wird auf 2 Stäbe q r, s r Fig. 22 gelegt, die unter einem gewissen Winkel bei r zusammenstoßen und nach ihren Enden, q, s, zu divergiren, so daß sie daselbst ziemlich so weit abstehen, als die Achse des doppelten Kegels. Wenn man daher diesen letztern in der Nähe der Spitze r auf die Stäbe setzt, so wird er vermöge seiner Gestalt nicht tief zwischen dieselben eindringen; während er aber gegen q s vorrückt, wird er tiefer einsinken, bis er zuletzt nur noch von seinen beiden Spitzen t v gestützt wird. Wiewohl nun r das niedrigste Ende der geneigten Fläche ist, wie Fig. 23. erläutert, so wird man sich doch überzeugen, daß der doppelte Kegel in seiner Lage t eigentlich höher liegt als in v, und daß er zwar auf der geneigten Fläche von r nach s hinanzusteigen schien, aber in der That in der Richtung der punktirten Linie u s herabgestiegen ist. Denn bei t befindet es sich weit höher über dem Tische als bei v, und folglich beruht das scheinbare Aufwärtsrollen bloß auf einer Täuschung.

Ein Stab w x Fig. 24., der seine eigne Masse nicht stützen kann, weil sein Schwerpunkt y über den Rand des Tisches z, auf welchem er liegt, hinaus fällt, kann auf die Weise gestützt werden, daß man sein äußerstes Ende x noch mehr beschwert, dieß Gewicht muß jedoch der Gestalt nach dem Stücke a b c gleichen; a ist eine Büchse von Zinn, welche dicht auf das Ende x des Stabes paßt; b

ein steifer daran gelötheter Draht, und c ein Klumpen Blei, welcher sich soweit von a entfernt, daß er unter w zu liegen kömmt. Jetzt wird der Schwerpunkt der ganzen zusammengesetzten Vorrichtung von seiner frühern Stelle y nach c versetzt worden seyn, und diese daher durch den Tisch z gestützt werden, ohne daß Gefahr vorhanden ist, daß sie falle. Man könnte noch viele andere Beispiele anführen, doch diese wenigen mögen genügen.

Vierter Abschnitt.

Von den mechanischen Kräften.

Unter mechanischen Kräften versteht man gewisse einfache Vorrichtungen, mittelst deren man mit verhältnißmäßig geringer Anstrengung Lasten heben oder widerstrebende Kräfte überwinden kann. Bei einer mechanischen Kraft müssen sich das Gewicht oder der Widerstand und die Kraft, welche denselben überwindet, zugleich bewegen, und überhaupt kann man alles das mechanische Kraft nennen, wobei die Bewegung der Kraft eine ebenmäßige Bewegung in dem Widerstande erzeugt, insofern nämlich weniger Kraft nöthig ist, als das Gewicht oder der Widerstand an sich erheischt. Nach dieser allgemeinen Beschreibung dürfte man glauben, daß jede Maschine, welche im Stande wäre, Kraft zu erzeugen, eine mechanische Kraft sey; allein Einfachheit ist eben so wesentlich und daher kann man die mechanischen Kräfte die Elemente des Maschinenwesens nennen, und sie sind auch wirklich so ungekünstelt, daß man sie weder vereinfachen, noch verändern kann. Es sind ihrer bloß 6, und man nennt sie: den Hebel, Rad und Achse, die Rolle, die geneigte Ebene, den Keil und die Schraube. Aus der Verbindung aller dieser oder eini-

ger von diesen Kräften, sind sämmtliche Maschinen oder deren Theile zusammengesetzt.

Da die Wirkungen der mechanischen Kräfte darauf beruhen, daß zwischen einem Widerstand und einer ungleichen Kraft ein Gleichgewicht hergestellt wird, so folgt daraus, daß, wiewohl ihre Bewegung gleichzeitig stattfindet, dieß dennoch nie ebenmäßig der Fall seyn kann, denn dann würde die Quantität des Moments ungleich seyn und kein Gleichgewicht bewirkt werden können. Die beiderseitigen Bewegungen der Kraft und des Widerstands werden daher immer durch die Größe dieser Kraft und dieses Widerstandes bedingt, und alles was zu Fig. 15. gesagt worden, findet auf die mechanischen Kräfte im Allgemeinen seine Anwendung. Denn wenn der Mittelpunkt der Kugel 1 fünf Mal so weit von dem Balancirpunkte f entfernt ist, als der Mittelpunkt der Kugel 5, so wird sich 1 jederzeit durch einen fünffach größern Raum bewegen als 5 und daher das fünffache Moment erhalten, folglich auch der größern Kugel das Gleichgewicht halten; und so sieht man, daß man zwar durch die Anwendung einer mechanischen Kraft Stärke gewinnt, aber auch zugleich einen verhältnißmäßigen Zeitverlust erleidet, oder mit andern Worten, wenn ein gewisses Gewicht durch eine einfache Kraft zu einer gewissen Höhe erhoben werden kann und derselbe Erfolg später, mittelst einer mechanischen Kraft, durch den zehnten Theil der Anstrengung hervorgebracht wird, so wird man finden, daß man auch zehnmal so viel Zeit dazu braucht. In vielen Fällen kömmt jedoch der Zeitverlust, gegen die Möglichkeit, etwas zu bewirken, gar nicht in Anschlag.

Vom Hebel.

Den Hebel, als die einfachste mechanische Kraft, werden wir zuerst betrachten. Er besteht aus einem unbiegsa-

men Stab, von unbestimmten Umrissen, der eine solche Lage hat, daß er sich auf einer Stütze, dem sogenannten fulcrum oder hypomochlium, dreht. Er muß das Gewicht oder den Widerstand überwinden, welcher auf irgend einen Theil seiner Länge wirkt, und die Kraft, welche dieß bewirkt, wirkt auf eine andere Stelle ein. Da nun Kraft, Widerstand und Stützpunkt in Bezug auf einander verschiedene Lagen haben können, so erhalten wir 3 Arten von Hebeln, welche Hebel der ersten, zweiten und dritten Art heißen. Derjenige Theil des Hebels, welcher sich zwischen dem fulcrum und der Kraft befindet, heißt der thätige Theil oder Arm und derjenige, welcher zwischen dem fulcrum und dem Widerstande liegt, der widerstehende Arm des Hebels.

Bei'm Hebel der ersten Art liegt der Stützpunkt zwischen der Kraft und dem Widerstand; bei der zweiten Art befindet sich der Widerstand zwischen dem Stützpunkt und der Kraft; bei der dritten wirkt die Kraft zwischen dem Stützpunkt und dem Widerstand ein, und die in den beiden ersten Fällen gewonnene Kraft wird sich nach der relativen Länge der zwei Arme ein und desselben Hebels bestimmen. Die Fig. 25 auf Taf. III. stellt einen Hebel der ersten Art vor, wie er am gewöhnlichsten angewandt wird, indem man nämlich mittelst desselben einen großen Stein oder überhaupt eine Last d erhebt. Ein solches Instrument heißt im gemeinen Leben ein Hebebaum. Die ganze Stange e f ist der Hebel, der Stein oder Klotz g ist der Stützungspunkt, auf dem er sich drehet; daher ist g f, da bei f die Kraft einwirkt, der thätige und g e der widerstehende Arm des Hebels. Die durch diese Gestalt des Hebels gewonnene Kraft, verhält sich wie die Länge der Arme oder wie f g zu g e. Man nehme also das Maaß von beiden und dividire mit g e in f g, so wird der Quotient die gewon-

nene Kraft anzeigen. Auf unserer Tafel ist e g zweimal in f g enthalten; die Kraft wird daher verdoppelt, so daß das Gewicht d, es sey so groß wie es wolle, bei f um die Hälfte geringer zu seyn scheint. Wenn nun der Stützungspunkt g um so viel näher an e gebracht würde, daß der Abstand zwischen e und g 20 Mal in g f enthalten wäre, so würde man um das 20fache an Kraft gewinnen, oder d bei f mittelst einer Kraft aufheben können, welche nur $\frac{1}{20}$ von dessen wahrem Gewicht gleich stände. In diesem Falle müßte jedoch f 20 Mal so weit herabsteigen, als e sich erhöbe, und die Ortsveränderung des Körpers d würde folglich sehr unbedeutend seyn.

Wenn also die Kraft des Hebels bei f dadurch vermehrt wird, daß der Stützpunkt g dem Widerstand d genähert wird, so wird jene nach demselben Gesetze verringert werden, wenn g nach der entgegengesetzten Richtung oder nach f zu bewegt wird. Nehmen wir also an, daß g genau zwischen e und f liegt, so daß der wirkende und widerstrebende Arm gleich lang werden, so wird man bei f ganz und gar keine Kraft gewonnen haben, weil man dann eines gleichen Gewichtes bedarf, um den bei e befindlichen Körper zu heben, und weil e und f bei der Bewegung gleiche Kreisbögen beschreiben, oder sich in gleichen Zeiten durch gleiche Räume bewegen würden, so könnte keine Kraft gewonnen werden, weil dieß geradezu gegen die Gesetze der Bewegung streiten würde. Nehmen wir dagegen an, daß der Stützpunkt g näher an f als an e liege, so wird d, sobald es bewegt wird, einen größern Raum als f durchschneiden und folglich mehr Moment als f erzeugen; daher wird das scheinbare Gewicht von d, wie man es bei f fühlt, vergrößert werden, und daher auch eine bedeutendere Kraft bei f darauf verwandt werden müssen, als das Gewicht von d beträgt. Bei dieser Art von

Anordnung bleibt der Stab zwar immer ein Hebel; allein man kann denselben nicht mehr als das Werkzeug einer mechanischen Kraft betrachten, wenn man nicht f g für den Arm des Widerstandes und g e für denjenigen erklären will, auf welchen die Kraft einwirkt. In diesem Falle muß die letztere bei e statt bei f einwirken und der Hebel bleibt nun dasselbe Instrument, wie im vorigen Falle, nur sind seine Enden vertauscht.

Wenn man von der Kraft des Hebels in allen seinen Modificationen spricht, so darf man nicht übersehen, daß man denselben als ganz gewichtlos ansieht, und bei genauen Versuchen muß man das Gewicht der verschiedenen Theile genau ausgleichen, wenn nicht das Resultat mangelhaft ausfallen soll. Wenn z. B. bei Fig. 25 die Stange e f durchaus von gleicher Stärke wäre, so würde natürlich in dem Arm g f doppelt so viel Materie seyn, als in g e; und dieser Ueberschuß an Materie würde ein Uebergewicht zu Gunsten des Endes f hervorbringen und offenbar die Kraft verstärken. Dieser Schwierigkeit begegnet man in der Theorie dadurch, daß man die ganze Stange e f als gewichtlos betrachtet; bei Versuchen beschwert man dagegen den kürzern Arm mit einem Gewicht oder macht ihn um so viel stärker, daß er dem längern Arm g f, sobald der Hebel nicht in Thätigkeit ist, genau das Gleichgewicht hält.

Aus obiger Beschreibung geht hervor, daß alle verschiedene Arten von Scheeren und Zangen, welche sich umeine in der Mitte befindliche Schraube oder ein Niet bewegen, Hebel der ersten Art sind; dasselbe gilt von der Schnellwaage (Fig. 26.), mit welcher man durch Vergleichung mit einem einzigen unveränderten Gewicht, dasjenige von vielen Körpern erfahren kann. Die Waage ist von so allgemeinem Nutzen, daß wir uns ein wenig bei derselben aufhalten

wollen. Obgleich sie ein Hebel ist, so hat sie doch keineswegs den Zweck, als eine mechanische Kraft zu wirken. Wenn sie vollkommen gut gearbeitet ist, so muß sie höchst genau im Gleichgewicht stehen, wenn gleiche Gewichte auf ihre beiden Enden einwirken, oder sich in den Schaalen befinden, welche meistentheils an denselben hängen. Kommen wir nun auf das zurück, was wir oben für den Fall bemerkt haben, daß der Stützpunkt mitten zwischen e und f Fig. 25. liegt, so finden wir, daß es durchaus nöthig ist, daß das fulcrum oder der Stift, auf welchen die Waage lastet und um den sie sich dreht, sich genau in der Mitte zwischen den beiden Endpunkten des Waagebalkens befindet. Denn wäre der eine Arm länger als der andere, so würde derselbe ein Uebergewicht an Kraft erhalten und wenn gleich die Waage, falls die Schaalen von richtig berechneter verschiedener Schwere sind, in vollkommenem Gleichgewicht stehen kann, so wird doch dieß Gleichgewicht nicht mehr stattfinden, wenn man gleiche Gewichte in beide Schaalen legt, und der längste Arm wird niedersinken. Will man daher die Richtigkeit in die Waage bringen, so muß man die Schaalen herabnehmen und versuchen, ob der Balken auch ohne sie im Gleichgewicht steht; dann müssen sie wieder daran befestigt werden und zwar an das umgekehrte Ende. Hierauf lege man gleiche Gewichte in beide Schaalen und verwechsele auch diese, und behält der Balken unter allen diesen Umständen die horizontale Lage bei, so kann man sich darauf verlassen, daß die Waage vollkommen gut ist. Der Stift oder der Stützpunkt p Fig. 17. Taf. II., um welchen sich der Waagebalken dreht, muß nach unten zu scharf und, so wie das Innere der Nuß, in welcher er sich bewegt, von gut gehärtetem Stahl seyn. Diese Vorrichtung beschränkt das fulcrum auf eine feine Linie und beugt der Reibung vor. Bei den

feinsten Waagen darf der Stift, aus Gründen, die wir oben S. 52. angegeben haben, nicht zu hoch über dem Schwerpunkt liegen, wiewohl man bei starken Waagen, wie sie z. B. bei'm Wägen der Kaufmannsgüter gebraucht werden, meistentheils finden wird, daß dieser Punkt 1 — 2 Zoll unter dem Zapfen liegt, und zwar, damit das Gleichgewicht, der Zeitersparniß wegen, schneller hergestellt wird. Will man jedoch genau wiegen, so wird man seinen Zweck um so mehr erreichen, je genauer der Schwerpunkt in die gerade Linie, zwischen den beiden Oehren h h und an den untern Rand des Zapfens p zu liegen kömmt; wiewohl ein solcher Waagebalken seine Schwingungen so lange fortsetzen wird, daß dadurch beträchtlich viel Zeit verloren geht. Die Zunge i ist dazu bestimmt, anzuzeigen, wenn der Waagbalken sich in horizontaler Lage befindet, da es an diesem selbst nicht so leicht ersehen werden kann. Die Gestalt der Schnellwaage erläutert Fig. 26. Tafel III; h i ist ein Hebel oder eine eiserne Stange, welche sich auf einem Zapfen k dreht, welcher letztere sich in einer Nuß (Unterlage) bewegt, die an dem Haken l befestigt ist, durch den in diesem Falle die ganze Maschine getragen wird; m ist der Körper, den man wiegen will und der von dem Stifte n herabhängt; daher ist n k der Widerstand leistende Theil des Hebels; während k i oder von k bis zu irgend einem Punkte, z. B. o, wo das für alle Fälle dienende Gewicht (welches in die verschiedenen mit 1, 2, 3, 4 u. s. w. bezeichneten Kerben sich verschieben läßt), sich gerade befindet, der Arm seyn wird, auf den die Kraft einwirkt. Nehmen wir nun an, daß dieser Hebel gewichtlos sey, oder wegen der grössern Quantität von Materie im Arme h im Gleichgewicht stehe, so folgt daraus, daß, wenn die Abstände n k und k o (oder 4) gleich sind, irgend ein Gewicht o ein gleiches Gewicht m gerade aufwiegen wird;

wenn also o 4 Pfund wiegt, so wird m gleichfalls 4 Pfd. schwer seyn; wenn dagegen o nach k zugerückt wird, so würde seine Wirkung um so viel verringert werden, daß es nicht mehr dem gleich schweren m, sondern nur 1, 2 oder 3 Pfunden, die bei m aufgehängt sind, das Gleichgewicht halten kann. Wird dagegen o nach i zugerückt, z. B. nach 8, so wird jetzt der wirkende Arm k 8 zweimal so lang seyn, als von k bis n; die Kraft des Gewichts o daher verdoppelt werden und dasselbe einem 8pfündigen bei m aufgehängten Gewicht das Gleichgewicht halten u. s. w. Man wird in der obigen Beschreibung bemerken, daß der an der Figur bemerkliche Haken p keine Dienste thut, doch sind die meisten Schnellwaagen mit doppelten Nieten versehen, wodurch die Ausdehnung des Gebrauchs der Waage bei'm Wiegen schwerer Gewichte bedeutend vermehrt, wiewohl ein wenig Genauigkeit aufgeopfert wird. Man nehme z. B. an, der Haken m werde nach oben herauf gedreht, so daß er die, durch die punctirte Linie bei q angegebene Lage annimmt und das ganze Instrument umgekehrt, so daß p statt l der Haken wird, an welchem es hängt; so wird der Haken l außer Thätigkeit gesetzt und werden die zu wiegenden Körper nun an q gehangen. Der frühere Zapfen k hat jetzt nichts mehr zu tragen, sondernr wird an seiner Stelle in Anspruch genommen, während das Gewicht o die durch punctirte Linien angegebene Lage erhält. Wegen der größern Nähe, die jetzt zwischen Stützpunkt und Widerstand stattfindet, ist der widerstandleistende Theil des Hebels bedeutend verkürzt; während der wirksame Arm r i wesentlich verlängert ist. Die Kraft des Gewichts o erhält dadurch eine verhältnißmäßige Verstärkung, wie durch die auf der andern Seite des Stabs k i angegebenen Ziffern anschaulich gemacht wird.

Bei Experimenten in Bezug auf den Hebel, wird ein gerader Waagebalken von Holz oder Metall, welcher in

gleiche Abschnitte getheilt ist, wie s t Fig. 27, für den schicklichsten Apparat befunden werden. Derselbe ruht auf einem Ständer v, und wenn zwei gleiche Gewichte u und w in gleichen Abständen von dem Stützpunkt oder Mittelpunkt aufgehangen werden, so halten sie sich das Gleichgewicht, da die Quantität ihrer Bewegung alsdann gleich ist; wenn dagegen statt w ein anderes Gewicht x, welches sechsmal so schwer ist, als w, sechsmal näher an den Mittelpunkt gehangen wird als w, so wird das Gleichgewicht eben so wenig gestört seyn, und man zugleich sehen, daß x sich in derselben Zeit um das Sechsfache weniger bewegt als w. So sieht man denn, daß, wenn die Kraft eines Hebels der ersten Art sehr groß ist, er dagegen keineswegs eine starke Ortsveränderung des Widerstandes hervorbringen kann und folglich in seiner Anwendung sehr beschränkt ist.

Fig. 28. zeigt denselben Apparat unter einer solchen Anordnung, daß dadurch die Art und Weise eines Hebels der zweiten Art anschaulich gemacht wird, bei welchem der Widerstand zwischen dem Stützpunkt und der Kraft liegt. a sey der Stützpunkt, b das Gewicht, welches gehoben, oder der Widerstand, welcher überwunden werden muß, und c der Theil, auf welchen die Kraft einwirkt, welche in diesem Falle durch das Gewicht d vorgestellt wird; dieses ist an einer Schnur befestigt, welche über eine feste Rolle läuft (diese verändert, wie wir später sehen werden die Wirkung des Gewichts d nicht), und sich bei c in einer Schlinge endigt. Aus dieser Anordnung der verschiedenen Theile ersieht man deutlich, daß, wenn das Gewicht b unmittelbar neben c gehangen würde, dasselbe seinen ganzen niederdrückenden Einfluß auf die Schnur äußern würde, und nur dann gestützt oder im Gleichgewicht gehalten werden könnte, wenn das Gewicht d dieselbe absolute Schwere

hätte; daß folglich auf diese Weise keine Kraft gewonnen werde. Wenn ferner das Gewicht b dicht nach a gebracht, oder über a angebracht würde, dann leuchtet wieder ein, daß das ganze Gewicht von b durch das fulcrum a gestützt werden und das Ende c gar nicht dabei betheiligt werden würde. Wenn man also b von a nach c bewegt, so wird die Kraft, welche es auf das Ende c ausübt, von Null bis zu seinem vollständigen Gewicht steigen, und deßhalb das Gewicht b in jeder Lage, nur nicht in c, bei c mittelst geringerer Kraft aufgehoben werden, als seiner absoluten Schwere zukömmt. Demnach ist Kraft gewonnen. In unserer Figur ist b halbwegs zwischen a und c und deßhalb wird sein halbes Gewicht von dem Stützpunkt a getragen; während die andere Hälfte durch die bei c wirkende Kraft unterstützt werden muß. Man gewinnt also durch eine solche Anordnung eine doppelte Kraft, denn b mag nun so schwer seyn, wie es will, so braucht man doch bei d nur die Hälfte dieses Gewichts. Bei diesem Hebel bildet das Stück von c, als dem Punkte, wo die Kraft einwirkt, bis zum fulcrum a den wirksamen, und das Stück vom fulcrum bis zu der Stelle, wo das Gewicht oder der Widerstand angebracht ist, z. B. b, den widerstehenden Arm; die durch den Hebel gewonnene Kraft mittelt man, wie bei dem der ersten Art aus, wenn man die Länge des wirksamen Arms mit der des widerstehenden dividirt. Man kann überhaupt die Kraft sämmtlicher Hebel durch folgende Proportion finden: wie sich der Abstand zwischen der Kraft und dem fulcrum zu dem Abstand zwischen dem Widerstand und dem fulcrum verhält, so verhält sich der zu überwindende Widerstand zu der Quantität der Kraft, die demselben das Gleichgewicht halten wird.

Von der Anwendung dieses Hebels, kommen uns unzählige Beispiele vor; von denen man unter andern das

von den Holzschuhmachern und andern Handwerkern gebrauchte Schneidemesser anführen kann, dessen eines Ende mittelst eines Wirbels an der Hobelbank befestigt ist; desgleichen, wenn zwei Männer eine zwischen ihnen befindliche Last an einer oder mehreren Stangen tragen, z. B. eine Portechaise, in welchem Falle der eine als das fulcrum und der andere als die Kraft betrachtet werden kann. Wenn nun die Last sich mitten zwischen beiden befindet, so werden sie dieselbe zu gleichen Theilen tragen; andernfalls wird der Mann, welcher sich ihr zunächst befindet, am stärksten beschwert seyn. Dieselben Bedingungen finden bei einem 4räderigem Fuhrwerk statt, und folglich muß, falls die Räder von gleichem Durchmesser sind, die Last genau in die Mitte zu liegen kommen, wenn sie auf horizontalem Boden sämmtliche Räder gleichförmig belasten soll. Eine in Angeln hängende Thür und der Schiebkarren können gleichfalls als Modificationen dieses Hebels angeführt werden.

Die dritte Art des Hebels, oder diejenige, wo die Kraft zwischen dem fulcrum und dem Widerstand einwirkt, kann man nicht zu den mechanischen Kräften zählen, wiewohl wir sie als eine Modification des Hebels nicht übergehen dürfen. Denn, da der widerstehende Arm, in allen Fällen bis auf einen, länger als der wirksame Arm und in diesem einen Falle demselben gleich ist, so kann man durch diese Vorrichtung keine Kraft gewinnen, sondern wird deren fast immer verlieren. Nehmen wir an, daß die in Fig. 28. angedeutete Kraft, ihre Lage mit dem Widerstande vertausche, so wird diese Figur dann einen Hebel der dritten Art bilden; denn jetzt wird b, die zwischen das fulcrum a und den Widerstand c gebrachte Kraft seyn, die denselben überwinden soll, und da, wenn sowohl Kraft als Widerstand bei c einwirkten, sie einander gleich

wenn also o 4 Pfund wiegt, so wird m gleichfalls 4 Pfd. schwer seyn; wenn dagegen o nach k zugerückt wird, so würde seine Wirkung um so viel verringert werden, daß es nicht mehr dem gleich schweren m, sondern nur 1, 2 oder 3 Pfunden, die bei m aufgehängt sind, das Gleichgewicht halten kann. Wird dagegen o nach i zugerückt, z. B. nach 8, so wird jetzt der wirkende Arm k 8 zweimal so lang seyn, als von k bis n; die Kraft des Gewichts o daher verdoppelt werden und dasselbe einem 8pfündigen bei m aufgehängten Gewicht das Gleichgewicht halten u. s. w. Man wird in der obigen Beschreibung bemerken, daß der an der Figur bemerkliche Haken p keine Dienste thut, doch sind die meisten Schnellwaagen mit doppelten Nieten versehen, wodurch die Ausdehnung des Gebrauchs der Waage bei'm Wiegen schwerer Gewichte bedeutend vermehrt, wiewohl ein wenig Genauigkeit aufgeopfert wird. Man nehme z. B. an, der Haken m werde nach oben herauf gedreht, so daß er die, durch die punctirte Linie bei q angegebene Lage annimmt und das ganze Instrument umgekehrt, so daß p statt l der Haken wird, an welchem es hängt; so wird der Haken l außer Thätigkeit gesetzt und werden die zu wiegenden Körper nun an q gehangen. Der frühere Zapfen k hat jetzt nichts mehr zu tragen, sondernr wird an seiner Stelle in Anspruch genommen, während das Gewicht o die durch punctirte Linien angegebene Lage erhält. Wegen der größern Nähe, die jetzt zwischen Stützpunkt und Widerstand stattfindet, ist der widerstandleistende Theil des Hebels bedeutend verkürzt; während der wirksame Arm r i wesentlich verlängert ist. Die Kraft des Gewichts o erhält dadurch eine verhältnißmäßige Verstärkung, wie durch die auf der andern Seite des Stabs k i angegebenen Ziffern anschaulich gemacht wird.

Bei Experimenten in Bezug auf den Hebel, wird ein gerader Waagebalken von Holz oder Metall, welcher in

gleiche Abschnitte getheilt ist, wie s t Fig. 27, für den schicklichsten Apparat befunden werden. Derselbe ruht auf einem Ständer v, und wenn zwei gleiche Gewichte u und w in gleichen Abständen von dem Stützpunkt oder Mittelpunkt aufgehangen werden, so halten sie sich das Gleichgewicht, da die Quantität ihrer Bewegung alsdann gleich ist; wenn dagegen statt w ein anderes Gewicht x, welches sechsmal so schwer ist, als w, sechsmal näher an den Mittelpunkt gehangen wird als w, so wird das Gleichgewicht eben so wenig gestört seyn, und man zugleich sehen, daß x sich in derselben Zeit um das Sechsfache weniger bewegt als w. So sieht man denn, daß, wenn die Kraft eines Hebels der ersten Art sehr groß ist, er dagegen keineswegs eine starke Ortsveränderung des Widerstandes hervorbringen kann und folglich in seiner Anwendung sehr beschränkt ist.

Fig. 28. zeigt denselben Apparat unter einer solchen Anordnung, daß dadurch die Art und Weise eines Hebels der zweiten Art anschaulich gemacht wird, bei welchem der Widerstand zwischen dem Stützpunkt und der Kraft liegt. a sey der Stützpunkt, b das Gewicht, welches gehoben, oder der Widerstand, welcher überwunden werden muß, und c der Theil, auf welchen die Kraft einwirkt, welche in diesem Falle durch das Gewicht d vorgestellt wird; dieses ist an einer Schnur befestigt, welche über eine feste Rolle läuft (diese verändert, wie wir später sehen werden die Wirkung des Gewichts d nicht), und sich bei c in einer Schlinge endigt. Aus dieser Anordnung der verschiedenen Theile ersieht man deutlich, daß, wenn das Gewicht b unmittelbar neben c gehangen würde, dasselbe seinen ganzen niederdrückenden Einfluß auf die Schnur äußern würde, und nur dann gestützt oder im Gleichgewicht gehalten werden könnte, wenn das Gewicht d dieselbe absolute Schwere

hätte; daß folglich auf dieſe Weiſe keine Kraft gewonnen werde. Wenn ferner das Gewicht b dicht nach a gebracht, oder über a angebracht würde, dann leuchtet wieder ein, daß das ganze Gewicht von b durch das fulcrum a geſtützt werden und das Ende c gar nicht dabei betheiligt werden würde. Wenn man alſo b von a nach c bewegt, ſo wird die Kraft, welche es auf das Ende c ausübt, von Null bis zu ſeinem vollſtändigen Gewicht ſteigen, und deßhalb das Gewicht b in jeder Lage, nur nicht in c, bei c mittelſt geringerer Kraft aufgehoben werden, als ſeiner abſoluten Schwere zukömmt. Demnach iſt Kraft gewonnen. In unſerer Figur iſt b halbwegs zwiſchen a und c und deßhalb wird ſein halbes Gewicht von dem Stützpunkt a getragen; während die andere Hälfte durch die bei c wirkende Kraft unterſtützt werden muß. Man gewinnt alſo durch eine ſolche Anordnung eine doppelte Kraft, denn b mag nun ſo ſchwer ſeyn, wie es will, ſo braucht man doch bei d nur die Hälfte dieſes Gewichts. Bei dieſem Hebel bildet das Stück von c, als dem Punkte, wo die Kraft einwirkt, bis zum fulcrum a den wirkſamen, und das Stück vom fulcrum bis zu der Stelle, wo das Gewicht oder der Widerſtand angebracht iſt, z. B. b, den widerſtehenden Arm; die durch den Hebel gewonnene Kraft mittelt man, wie bei dem der erſten Art aus, wenn man die Länge des wirkſamen Arms mit der des widerſtehenden dividirt. Man kann überhaupt die Kraft ſämmtlicher Hebel durch folgende Proportion finden: wie ſich der Abſtand zwiſchen der Kraft und dem fulcrum zu dem Abſtand zwiſchen dem Widerſtand und dem fulcrum verhält, ſo verhält ſich der zu überwindende Widerſtand zu der Quantität der Kraft, die demſelben das Gleichgewicht halten wird.

Von der Anwendung dieſes Hebels, kommen uns unzählige Beiſpiele vor; von denen man unter andern das

von den Holzschuhmachern und andern Handwerkern gebrauchte Schneidemesser anführen kann, dessen eines Ende mittelst eines Wirbels an der Hobelbank befestigt ist; desgleichen, wenn zwei Männer eine zwischen ihnen befindliche Last an einer oder mehreren Stangen tragen, z. B. eine Portechaise, in welchem Falle der eine als das fulcrum und der andere als die Kraft betrachtet werden kann. Wenn nun die Last sich mitten zwischen beiden befindet, so werden sie dieselbe zu gleichen Theilen tragen; andernfalls wird der Mann, welcher sich ihr zunächst befindet, am stärksten beschwert seyn. Dieselben Bedingungen finden bei einem 4räderigem Fuhrwerk statt, und folglich muß, falls die Räder von gleichem Durchmesser sind, die Last genau in die Mitte zu liegen kommen, wenn sie auf horizontalem Boden sämmtliche Räder gleichförmig belasten soll. Eine in Angeln hängende Thür und der Schiebkarren können gleichfalls als Modificationen dieses Hebels angeführt werden.

Die dritte Art des Hebels, oder diejenige, wo die Kraft zwischen dem fulcrum und dem Widerstand einwirkt, kann man nicht zu den mechanischen Kräften zählen, wiewohl wir sie als eine Modification des Hebels nicht übergehen dürfen. Denn, da der widerstehende Arm, in allen Fällen bis auf einen, länger als der wirksame Arm und in diesem einen Falle demselben gleich ist, so kann man durch diese Vorrichtung keine Kraft gewinnen, sondern wird deren fast immer verlieren. Nehmen wir an, daß die in Fig. 28. angedeutete Kraft, ihre Lage mit dem Widerstande vertausche, so wird diese Figur dann einen Hebel der dritten Art bilden; denn jetzt wird b, die zwischen das fulcrum a und den Widerstand c gebrachte Kraft seyn, die denselben überwinden soll, und da, wenn sowohl Kraft als Widerstand bei c einwirkten, sie einander gleich

seyn müßten, während die Kraft, je näher sie nach a rückt, um so stärker werden muß, so folgt daraus, daß dieser Hebel, sobald die Kraft an irgend einem andern Orte als c einwirkt, deren verlieren muß, und man selbst in diesem Falle keine gewinnen kann.

Im alltäglichen Leben finden wir ein Beispiel zu dieser Art von Hebel, wenn eine lange Leiter gegen eine Wand aufgerichtet werden soll, oder im Gebrauche der gewöhnlichen Feuerzangen. Vorzüglich wichtig wird sie jedoch dadurch, daß die Extremitäten des Menschen und sämmtlicher Thiere nach diesem Princip gebildet sind; denn die Knochen sind die Hebel, die Gelenke die fulcra; die Muskeln, vermöge welcher die Gliedmaaßen bewegt werden, sind dicht an den Gelenken eingefügt, während die Wirkung an den weiter vom Rumpfe liegenden Theilen hervorgebracht wird. Die Folge davon ist, daß die Muskeln zwar, um die Extremitäten in Thätigkeit zu setzen, sich mit gewaltiger Kraft zusammenziehen müssen; dagegen eine Schnelligkeit der Bewegung entsteht, welche wohl auf keine andere Weise so zweckmäßig erzeugt werden könnte.

Man kann Hebel mit einander verbinden, entweder um ihre Kraft zu vermehren, oder eine solche beschleunigte Bewegung zu erzeugen. So sehen wir in Fig. 29. einen zusammengesetzten Hebel der ersten Art; bei'm ersten Hebel e verhält sich der widerstehende Arm zum wirksamen, wie 1 zu 2; daher an der Spitze g schon die Hälfte des Gewichts f dieses aufwiegen wird; h ist ein ähnlicher Hebel, welcher mit e durch eine zwischen g und i befindliche Schnur in Verbindung gesetzt ist und durch welchen die Hälfte des Gewichts f von neuem halbirt und also bei k zu $\frac{1}{4}$ wird; l ist ein dritter ähnlicher Hebel, der die nämliche Einrichtung und Verhältnisse hat, wie die beiden andern und durch den der Widerstand bei k von neuem hal-

birt und folglich bei m bis auf den achten Theil des ursprünglichen Gewichts f herabgesetzt wird. Eine ähnliche Reihe von Hebeln könnte man so weit wie man wollte, fortsetzen; dagegen würde die Bewegung von f ganz unmerklich werden, denn schon bei dieser Vorrichtung müßte das Gewicht m 8 Zoll weit herabsteigen, wenn f sich um einen Zoll erhöhen soll. Wenn hingegen dem Gewichte f eine geringe Bewegung mitgetheilt wird, so wird sie in dem nämlichen Verhältniß bei m multiplicirt werden, und daher ist eine solche Vorrichtung bequem und häufig anwendbar, wenn man geringe Bewegungen bemerkbar machen will, wie dieß bei dem von Ferguson erfundenen und beschriebenen Hebel-Pyrometer der Fall ist. Das Pyrometer ist ein Instrument, durch welches die Ausdehnung und Zusammenziehung verschiedener Metalle oder anderer Substanzen bei verschiedenen Temperaturen ausgemittelt wird, und daher bei Experimenten sehr brauchbar, welche man anstellt, um die besten Materialien und deren Verhältniß bei der Verfertigung von Compensations-Pendeln und Waagen (vergl. S. 39.) zu bestimmen. Fig. 30. zeigt das Hebel-Pyrometer; n o ist die Metallstange, mit welcher experimentirt wird, und welche zu dem Ende zwischen die Stellschraube p und den Hebel q gebracht wird; von diesem letztern ist r das fulcrum oder der Zapfen und von diesem bis zu der Stelle, auf welche die Stange drückt, muß die Entfernung gerade um das Zehnfache weniger betragen, als die vom fulcrum bis zum obern Ende s des Hebels. Dieses Ende drückt auf den zweiten Hebel t v bei $\frac{1}{10}$ seiner Länge, vom fulcrum t an gerechnet; und wenn sich also die Stange n o nur um $\frac{1}{100}$ Zoll ausdehnt, so wird das Ende s des ersten Hebels sich um $\frac{1}{10}$ Zoll fortbewegen und dadurch das Ende v des zweiten Hebels einen ganzen Zoll auf der mit Graden ver-

sehenen Scale r w fortgetrieben werden. Auf dieser Scale wird also jeder $\frac{1}{10}$ Zoll in Bezug auf Ausdehnung der Stange $\frac{1}{1000}$ Zoll entsprechen; und so zeigt ein solches Instrument schon sehr winzige Veränderungen an. Dagegen fehlt es bei großen Bewegungen an Genauigkeit; denn wenn die Hebel sich bewegen, wird der, zwischen dem Berührungspunct und fulcrum befindliche Abstand größer und hört auf, der zehnte Theil der ganzen Länge zu seyn. Eine sehr schwache Feder x bewirkt, daß t v zurückkehrt und y ist eine Spirituslampe, durch welche die Stange erhitzt wird. Stellt man aber genaue Experimente mit diesem Instrumente an, so darf die Wärme der Stange nicht unmittelbar, sondern sie muß einer kleinen Pfanne mitgetheilt werden, durch welche die Stange geht, und die man mit Wasser, Oel oder irgend einer andern Flüssigkeit füllt, durch welche die Wärme mitgetheilt wird; während deren Temperatur durch ein kleines darin befindliches Queckſilberthermometer angezeigt wird. Die besten und genauesten Pyrometer sind mittelst eines Räderwerks hergestellt und diese zeigen bei jedem Grade der Ausdehnung gleich richtig an.

Nach dem was Lord Maccartney berichtet, scheint es, daß die Chinesen mit den, aus der Verbindung von Hebeln zu ziehenden Vortheilen bekannt waren, und daß sie eine äußerst einfache und zweckmäßige Methode hatten, eine große Last unter einer Anzahl von Männern zu vertheilen, welche dieselbe zu tragen hatten. Wie diese Vorrichtung sich von oben gesehen ausnimmt, wird durch Fig. 31. anschaulich. Die Last a ist, wie eine Portechaise, zwischen den zwei starken Stangen b und c in gleicher Entfernung von ihrem Ende befestigt. An diesen Enden sind vier transversale Stücke befestigt, und die Enden dieser letztern wiederum mit der Mitte von 8 Stücken d

e, d e verbunden, von denen jedes auf den Schultern zweier Männer ruht, so daß man, nach den, bei dem Hebel zweiter Art entwickelten Grundsätzen, erkennen wird, daß die Last a zwischen 16 Männern gleichförmig vertheilt ist. Ungefähr denselben Erfolg bringt man hervor, wenn man die vordersten Pferde eines Viergespanns an sogenannte Deichselwaagen spannt. So ist die Waage f g Fig. 32. in der Mitte h an die Deichsel der Kutsche befestigt und die zwei kleinern Waagen i und k hängen in der Mitte mit f und g zusammen. Die Zugseile sind an die Enden von i und k gebunden, und folglich ist der Widerstand bei h zwischen die zwei bei i und k ziehenden Pferde gleichförmig vertheilt. Ist ein Pferd stärker als das andere, so kann man leicht eine verhältnißmäßige Vertheilung der Anstrengung treffen, wenn man die Waage f g nicht gerade in der Mitte befestigt und das schwächste Pferd am längsten Arme ziehen läßt.

Wir haben den Hebel bisher, der Einfachheit wegen, als eine gerade unbiegsame Stange betrachtet; er mag aber nun gerade oder krumm, biegsam oder unbiegsam seyn, so werden seine Wirkungen doch dieselben bleiben, wenn man nur die Differenzen abrechnet, welche in Folge eines effectiven Wechsels in der verhältnißmäßigen Länge der Arme durch die veränderte Lage aus Gründen eintreten, die auf den ersten Blick nicht immer in die Augen fallen. Denn die Wirksamkeit gekrümmter Hebel folgt nicht unter allen Umständen der materiellen Bildung, sondern bei mancher künstlichen Vorrichtung, die nicht sogleich in die Augen springt, äußert sie sich scheinbar regelwidrig, kann aber nach den schon entwickelten Gesetzen ausgemittelt werden. Wenn also die Linie l m Fig. 33. einen geraden gleicharmigen Hebel bildet, welcher sich auf einem fulcrum oder Mittelpunkt n dreht, so wird daraus folgen, daß die zwei

gleichen Gewichte bei l und m sich einander bei horizontaler Lage das Gleichgewicht halten werden. Doch dieß wird gleichfalls eintreten, wenn wir annehmen, daß der Hebel sich in der Lage o p auf seinem Mittelpunkt n drehe; denn da der Einfluß der Schwerkraft, während sich die Gewichte bei l und m oder o und p oder überhaupt in allen möglichen Lagen befinden, die sie annehmen können, senkrecht gegen den Horizont oder die horizontale Linie l m von statten geht, so wird ihre effective Thätigkeit durch senkrechte Linien, wie die punctirten von r nach p und von o nach q oder andere mit diesen parallelen dargestellt werden, und da diese Linie in allen Fällen die horizontale Linie l m in gleicher Entfernung vom fulcrum, z. B. n r und n q, schneiden werden, so folgt daraus, daß die zwei Gewichte einander in allen Lagen das Gleichgewicht halten. Wenn ein gekrümmter Hebel statt eines geraden genommen wird, der aber noch immer gleiche Arme und gleiche Gewichte hat, wie s t v Fig. 34. und t das fulcrum ist, so muß man wie vorher eine horizontale Linie ziehen, um, wenn Gewichte einwirken, deren Kraft zu schätzen. Daher ziehe man die Linie u w und fälle vom fulcrum aus das Perpendikel t x, so wird man finden, daß der effective Punkt des fulcrum bei x in der Linie u w liege. Auf ähnliche Weise ziehe man die Linien s y und v z vom Schwerpunkte der Gewichte aus und parallel mit t x, so wird man finden, daß die zwei Abstände vom fulcrum x y und x z gleich sind und die effectiven Arme, anstatt der beiden Längenmaaße t s und t v, darstellen. Unter diesen Umständen muß ein Gleichgewicht hergestellt werden. Wenn man aber annimmt, daß der Hebel s t v seine erste Lage ändert und die von a t b annimmt, so wird das Gleichgewicht aufgehoben seyn. Das fulcrum x bleibt zwar unverändert auf der Linie u w; allein die Linien a

c und b d werden jetzt die effective Wirkung der Gewichte a und b vorstellen, welche letztere noch gleich sind; nicht so die Abstände x c und x d. Wenn daher in dieser neuen Lage des Hebels ein Gleichgewicht hergestellt werden soll, so muß das Gewicht a soviel Mal vergrößert werden, als der Abstand x c in x d enthalten ist. Die effective Wirksamkeit eines Hebels kann also durch dessen Gestalt sehr verändert, so wie die Art und Weise, auf welche man Kraft und Widerstand an demselben anbringt, mannichfach modificirt werden. Auch wird ein gekrümmter Hebel sich so einrichten lassen, daß er mittelst eines Gewichts, wie die Schnellwaage, die Bedeutung einer Anzahl anderer anzeigt. Wir nehmen z. B. an, das Gewicht s Fig. 34. sey bedeutend groß und bei v keines angebracht; dann wird der Arm t s in der Richtung t x hängen und das Ende v sich erheben. Allein ein sehr unbedeutendes Gewicht, welches bei v aufgehangen ist, wird t s ein wenig aus der perpendiculären Lage heraus nach a treiben. Wird das Gewicht v so lange vergrößert, bis es gleich s ist, so wird der Hebel die Lage s t v annehmen und wenn v bedeutender gemacht wird, als s, so wird es sich nach x zu senken, und dagegen s aufsteigen; wenn man daher den Arm t v oder t s über einen mit Graden versehenen Kreisbogen gehen läßt, dessen Mittelpunkt sich in t befindet, und die Gewichte mit den verschiedenen darauf verzeichneten Höhen in das richtige Verhältniß bringt, so entsteht daraus die Waage des krummen Hebels.

Die nächste mechanische Kraft ist:

Rad und Achse.

Sie besteht aus zwei parallelen Rädern, Rollen, Cylindern oder Scheiben, welche eine gemeinschaftliche Achse haben, wie man in Fig. 35. Taf. IV. sieht. e e ist der

Stift oder die gemeinschaftliche Achse, um welche sich das Ganze dreht; f ein Cylinder und g eine größere um denselben befindliche Rolle. g würde in diesem Falle das Rad und f die Achse genannt werden; wiewohl e e die eigentliche Achse ist. Dieselben Benennungen würden beibehalten werden, das Kaliber von f möchte sich zu dem von g verhalten wie es wollte, wenn nur f keinen größern Durchmesser hat wie g, in welchem Falle sie ihre Namen vertauschen würden. Bei dem Gebrauch von Rad und Achse wirkt die Kraft auf den Rand des Rads und der Widerstand auf den der Achse ein, und man gewinnt in demselben Verhältnisse an Kraft, als der Diameter des erstern größer ist als der der letztern. Wenn daher eine Schnur um g und eine zweite um f, aber in entgegengesetzter Richtung gewunden ist, so wird man bei'm Herabziehen des Gewichts h dessen Schnur abwickeln; dadurch wird g und mit ihm zugleich f umgedreht werden; da denn das Gewicht oder der Widerstand i sich erhebt. Wenn nun f einen halb so großen Durchmesser hat als g, so wird i bei h mit der Hälfte der Kraft erhoben werden können, welche dessen Widerstand unter gewöhnlichen Umständen erheischt, und h sich doppelt so schnell bewegen wie i. Wenn man ferner annimmt, daß der Durchmesser des Rads g 50 Mal größer ist, als der seiner Achse f, so wird jedes bei i befindliche Gewicht, bei h mittelst $\frac{1}{50}$ der Kraft gehoben werden können, welche erforderlich seyn würde, um dieß ohne mechanische Kraft zu bewirken, sich dagegen aber auch mit 50 Mal geringerer Schnelligkeit bewegen.

Wir haben gesagt, daß die Kraft von Rad und Achse sich nach dem resp. Durchmesser beider Theile richtet; allein wegen des gleichförmigen Verhältnisses, welches bei allen Kreisen zwischen Halbmesser, Durchmesser und Umkreis stattfindet, ist es gleichgültig, welchen Ausdruck man ge-

braucht; so daß sich folglich die Kräfte auch verhalten wie die resp. Radien und Circumferenzen. Wenn daher Rad und Achse denselben Durchmesser haben, so kann keine Kraft gewonnen werden, denn das eine wirkt dann so stark wie die andere; woraus denn ein Gleichgewicht zwischen Kraft und Widerstand entstehen muß. Es ist indeß nicht nothwendig, daß gerade ein Seil um das Rad g gewunden wird, oder daß überhaupt dieser Theil die Gestalt eines Rades hat; denn wenn der Cylinder f ohne die Rolle g existirte und ein Hebel, Stock, oder eine Haspel so in f eingefügt werden könnte, daß das äußere Ende des Hebels einen Kreis von demselben Durchmesser wie g um e beschriebe, so würde dieser Kreis die Stelle des Rades g vertreten und der Gewinn an Kraft derselbe seyn. Daher ist die Winde, mittelst welcher man Schiffe in Häven zieht, Rad und Achse, wenn gleich es scheint, daß sie nur eine Achse ohne Rad sey. Die Griffhölzer sind das Rad, und der Kreis, in welchem die Männer umhergehen und ihre Kraft ausüben, bestimmt den Durchmesser. Wenn f und g als Rollen gebraucht würden, um mittelst darüber laufender Bänder und Riemen eine Maschine in Bewegung zu sezzen, so würden ihre Kräfte noch dieselben bleiben, was auch der Fall seyn würde, wenn die Ränder von g und f mit Zähnen versehen würden. So besteht alles Räderwerk in Uhren und im Maschinenwesen aus Rad und Achse, und hierbei bildet das Getriebe die Achse, während das Rad seine eigentliche Benennung beibehält. Daher beruht die Wirkung alles Räderwerks auf dem Princip von Rad und Achse und kann berechnet werden, wenn man den Radius jedes Rades mit dem seines Getriebes dividirt. Der Grund dieser Regel wird bei Ansicht der Fig. 36., welche die Fig. 35. von vorne gesehen ist, einleuchten; k stellt das große Rad mit dem Gewichte h vor, welches die Kraft

erzeugt und m das kleinere Rad mit dem Gewicht i, das den Widerstand hervorbringt; e ist die Achse. Die Kraft von h, welche sich bestrebt, das Rad k umzudrehen, wird durch dessen Radius l e oder eine Linie, welche von der Circumferenz nach dem Mittelpunkt e gezogen ist, dargestellt. Die Kraft, welche bei'm Rade m wirkt, um das Gewicht h zu erheben, wird gleichfalls durch dessen Radius n e dargestellt, und so bildet die ganze Linie l e n einen Hebel der ersten Art, in welchem e das fulcrum ist; während l e den wirksamen und n e den widerstehenden Arm bildet. Die Thätigkeit von Rad und Achse läßt sich daher auf die eines Hebels der ersten Art zurückführen; allein bei'm Hebel ist die Größe der Wirksamkeit sehr beschränkt; während bei Rad und Achse, da alle Radien einander gleich sind, eine Folgereihe gedachter Hebel wie l e n so lange entsteht, als sich das Rad umdreht; folglich ist die Dauer der Thätigkeit unbegränzt und man kann dadurch eine Last zu jeder gewünschten Höhe aufziehen.

Eine der gewöhnlichsten praktischen Anwendungen von Rad und Achse ist der bei Ausladeplätzen und Waarenhäusern gebräuchliche Krahn, mittelst dessen man schwere Ballen und Kisten aufhebt und niederläßt. Sonst war es ziemlich gewöhnlich, denselben durch einen Menschen, der ein großes Rad trat, in Bewegung zu setzen. Dieß war jedoch nicht nur eine gefährliche, sondern eine sehr unzweckmäßige Weise, Kraft zu gewinnen und man hat sie daher jetzt fast ganz aufgegeben. Die beste und wirksamste Methode, menschliche Kraft auf ein senkrechtes Rad nebst Achse einwirken zu lassen, ist, die äußere Circumferenz des großen Rads, wie bei einem gewöhnlichen Mühlrade, mit hervorstehenden Bretern zu besetzen und einen oder mehrere Leute im Niveau des horizontalen Durchmessers des Rads auf diese Breter treten zu lassen. Denn dann kann

das ganze Gewicht und die Kraft der angestellten Leute auf denjenigen Punkt einwirken, wo sie den bedeutendsten Erfolg hervorbringt. Diese Anwendung der Kraft wurde erfunden und zuerst angewandt von David Hardie. (Vergl. *Hardie's* Crane in Dr. *Gregory's* Treatise on Mechanics, Vol. II. p. 166. 3 ed.)

Man wendet Rad und Achse zuweilen an, um eine beschleunigte Bewegung zu erhalten, statt Kraft zu gewinnen, z. B. bei dem Räderwerk an gewöhnlichen Bratspießen, an welchen man diese Einrichtung trifft, wenn das Gewicht füglich nicht viel Fall haben kann. In diesem Falle läßt man ein schweres Gewicht auf die Achse einwirken; während das Rad mit seinem äußersten Umfange einen bei weitem längern Weg zurücklegt, als das herabsteigende Gewicht und die Maschine weit länger ohne Beihülfe in Bewegung bleibt.

Deßgleichen hat Rad = und = Achse seinen großen Nutzen, wenn ungleiche Kräfte regulirt werden sollen. So bringt man den Gang gewöhnlicher Taschenuhren oder Federschlaguhren dadurch hervor, daß man eine dünne spiralförmige Stahlfeder wie o Fig. 37. um einen festen Stift p. windet; indem man die Trommel oder das Federhaus, q r q, in welchem die Feder befindlich ist, nach der Richtung des Pfeils umdreht. Das äußere Ende dieser Feder ist bei r an der Trommel befestigt; r wird sich daher um p drehen und die Feder sich zugleich um p aufwickeln. Anfangs wird sie wenig Bestreben entwickeln, in ihre frühere freiere Lage zurückzukehren; dieß wird aber mit dem Winden zunehmen, und so oft sie frei wirken kann, wird sie sich auseinander wickeln und die Kapsel q r q in der dem Pfeile entgegengesetzten Richtung herumtreiben. Hier nimmt nun die Kraft ab, jemehr sich die Feder ausdehnt

und diese veränderliche Kraft wird dazu angewandt, die Uhr in Bewegung zu setzen.

Eine veränderliche Kraft würde aber in dem Gange der Maschine, welche sie in Bewegung setzt, eine verschiedene Geschwindigkeit hervorbringen, wenn man sie nicht durch ein veränderliches Rad nebst Achse gleichförmig macht. Dieß veränderliche Rad nebst Achse nennt man die Schnecke, und sie ist der kegelförmig ansteigende Theil, den man in den meisten Uhren sieht, um welchen sich die Kette bei'm Aufziehen anlegt. Unsere Figur 37. zeigt sie bei t; s stellt die Trommel vor, in welcher bei q q r die Feder liegt, und v die Kette, welche sich nach und nach um s aufwickelt und bei'm Aufziehen der Uhr um die konische Schnecke t gewunden wird, indem man den Uhrschlüssel an das viereckige Stück u ansetzt und umdreht. Wenn die Kette die Schnecke gefüllt hat, oder die Uhr aufgezogen ist, so wird die Feder mittelst der Kette auf den obern Theil der Schnecke wirken; da sich dieser nahe bei'm Mittelpunkt befindet, so gewinnt die Feder nur wenig Kraft; allein während sich diese von einander begiebt und an Kraft verliert, wirkt sie stets auf einen breitern Theil der Schnecke ein, bis dieß zuletzt an der Basis geschieht; und wenn also die Gänge an t in demselben Verhältniß zunehmen, wie die Kraft der Feder abnimmt, so wirkt fortwährend eine gleiche Kraft auf das gezähnelte Rad (Schneckenrad) w ein, welche das ganze Werk in Bewegung setzt.

Die Rolle

ist die nächste mechanische Kraft; ihre Anwendung ist sehr ausgedehnt. Aus dem über Rad und Achse und über die mechanischen Kräfte in Allgemeinen Erinnerten geht hervor, daß eine einzelne Rolle, wie Fig. 38, keine mecha-

nische Kraft erzeugen kann; denn wenn zwei gleiche Gewichte x und y an einem über die Rolle gehenden Strick befestigt sind, so werden sie an den Punkten a und c einwirken, welche den Endpunkten der zwei gleichen Radien a b und b c entsprechen, und man kann die Linie a b c als einen gleicharmigen Hebel der ersten Art betrachten, der sich auf dem fulcrum b dreht; x wird also bei jeder Bewegung um so viel ansteigen, als y niedersteigt und umgekehrt; daher wird bei einer solchen Anordnung keine Kraft gewonnen, und daher sagt man oft von der einfachen Rolle (wie Figur 38.), daß sie unfähig sey, mechanische Kraft zu erzeugen. Wenn man aber, statt sie so anzuwenden, wie in der vorigen Figur, dieselbe umdreht, und sich so bewegen läßt, wie Fig. 39. zeigt, so tritt ein ganz anderer Fall ein. Denn, wenn jetzt ein Gewicht d unterhalb der Rolle aufgehangen wird, so wird dasselbe, nach den Gesetzen des Hebels zweiter Art, beide Enden, e, f, der Schnur gleichförmig anziehen, e deßhalb die eine Hälfte des Gewichts und f die andere tragen, und wenn daher e an einen Haken gebunden ist und die Kraft auf f einwirkt, so wird nur die Hälfte des Gewichts d gefühlt werden und f sich jetzt zweimal so weit in derselben Zeit bewegen müssen, als d. Da es aber in den meisten Fällen vortheilhafter ist, nach unten als aufwärts zu ziehen, so werden in der Praxis die beiden Formen in Fig. 38 u. 39. gemeinlich mit einander verbunden, so daß 39. gebraucht wird, die Kraft zu gewinnen, und 38, um die Richtung des Zuges zu ändern; dieß wird bewirkt dadurch, daß das Seil e entweder an die Unterseite des obersten Klobens, oder an den Haken, der ihn hält, befestigt wird, indeß das Seil f sich an das obere Seil c y schließt, und in x endigt, wo die Kraft angewandt werden muß, und sonach zeigt Fig. 40. einen so eingerichteten Doppelkloben.

Wenn statt zweier Hängeseile, wie im letzten Falle, drei gebraucht werden, wie in Fig. 41, nämlich ein Seil, was oben an den Unterkloben in g gebunden, über die Scheibe h, unter die in i, und über die in k geführt wird, so daß sie in l endet, wo die Kraft angebracht werden muß, dann wird eine Kraft von dreien gewonnen, und eben so von jeder größern Anzahl von Strängen; denn die theoretische Kraft der Rollen besteht darin, daß sie sich verhält, wie die Anzahl der angewandten Fallen (Stränge), da wo die Blöden übereinander gebracht sind, wie in den beiden letzten Figuren, indem man annimmt, daß jede Falle gleichmäßig angezogen wird, oder ihren verhältnißmäßigen Theil der Last trägt, während die Kraft nur auf eine Falle angebracht wird; und also würde, wenn ein Gewicht an einer solchen Reihe von Rollen hinge, die zehn Fallen nöthig hätte, während eine davon das Gewicht höbe, eine zehnfache Kraft gewonnen, oder 100 Pfund würden durch 10 Pfund Anstrengung gehoben werden. Allein die große Reibung, die auf der Rolle stattfindet, die Steifheit oder Unbiegsamkeit der Stränge, und die ungleichen Summen der Bewegung, die diese haben, indem sie über die verschiedenen Rollen einer zusammengesetzten Klobenwinde gehen, vermindern sehr wesentlich die Kraft, die sonst gewonnen werden würde, so daß es fast unmöglich wird, mehr als sechs Fallen mit Nutzen anzuwenden, denn die Stränge werden wegen der ungleichen Geschwindigkeit der Bewegung nicht gleichmäßig angespannt, und die Klobenwinde wird auf eine Seite geworfen, wenn sie viele parallele Scheiben auf einerlei Achse enthält, wodurch die ganze Seite jeder Scheibe sich an der Seite der Blöde zu reiben veranlaßt wird, so daß eine große Friktion entsteht. Daß diese ungleiche Bewegung des Seils, und Vertheilung des Gewichts darauf stattfinden müsse, wird man bei

Ansicht der Fig. 41. finden, wo ersichtlich ist, daß, wenn das Ende l des Seils 12 Zoll herabgezogen wird, es den Kloben g i nur 4 Zoll hebt, weil, während dieser in die Höhe steigt, er einen Theil des Seils o über die Scheibe h abgiebt, wodurch das Seil n verlängert, und das Steigen von g i gehindert wird; und bei Klobenwinden, die eine größere Anzahl von Rollen enthalten, als in einem der obigen Beispiele, werden die ersten beiden Rollen das Gewicht auf die Hälfte reduciren, die nächsten beiden werden diese Hälfte dividiren, oder auf ein Viertel bringen, die nächsten beiden auf ein Achtel u. s. w., indem sie so eine sehr ungleiche Vertheilung des Gewichts über die Klobenwinde hervorbringen, wodurch sie auf eine Seite zu hängen kömmt, und der obgemeldete Nachtheil entsteht.

Um diese Unvollkommenheiten bei der Rolle zu heben, und die Seitenreibung zu verhüten, erfand James White sein patentirtes Rollensystem, was in Figur 42. abgebildet ist. Jeder Klobenzug, statt einzelne Scheiben zu enthalten, besteht aus einer Reihe von Scheiben, die aus einem einzigen festen Stücke gedreht sind, aber in arithmetischem Verhältniß in der Größe variiren, so daß jede Reihe, im Profil oder Durchschnitt angesehen, eben so vielen Gängen gleich scheint, die auf die Oberfläche eines sehr stumpfen Kegels geschnitten sind. Angenommen, daß jeder Kegel sechs Gänge enthalte, so gestattet dieß 12 Schnuren, wie in der Figur, und angenommen, daß diese Gänge abgesonderte Scheiben oder Rollen von gleichem Durchmesser sind, wie bei gewöhnlichen Kloben, so muß, da es zwölf Stränge sind, um die beiden Kloben zusammen zu bringen, 12 Mal so viel Seil über die oberste Rolle gehen, als ihr Abstand von einander beträgt; allein bei Ansicht der Figur ist es klar, daß die zweite Rolle nicht die volle Quantität Seil erhalten kann, nämlich um so viel

weniger als die Entfernung zwischen beiden austrägt. Auf gleiche Weise erhält die dritte Rolle weniger als die erste, um so viel, als die Entfernung zwischen der ersten und dritten beträgt, und so weiter bis zur letzten Rolle, die nur $\frac{1}{12}$ des Ganzen erhält; denn diese erhält ihren Antheil am Seil n von einem festen Punkt in der obersten Blöde, die ihr nichts mittheilt, indeß alle übrigen Seil erhalten, theils durch das Entgegendrehen gegen das Seil, theils durch das Entgegenkommen desselben. Die äußerste Rolle würde sich also zwölf Mal umdrehen, während die, welche das Seil n erhält, sich nur ein Mal umdrehte, und die Zwischenzeiten und Geschwindigkeiten würden einer Reihe von arithmetischen Proportionalen gleichen, wovon, wenn die erste Zahl Eins wäre, die letzte immer der ganzen Anzahl gleichkommen würde. Es folgt also, daß, wenn die Durchmesser gewisser Gänge an demselben Körper genau an die arithmetische Reihefolge gepaßt wären (wobei man das Seil selbst als undehnbar und ohne Größe annimmt), der Nothwendigkeit, mehrere abgesonderte Scheiben in jeder Blöde oder jedem Kloben zu brauchen, vorgekehrt seyn, und damit den meisten Nachtheilen abgeholfen wird, denen die gewöhnlich eingerichtete Rolle unterworfen ist. In der Praxis können die Gänge indeß nicht im genauen arithmetischen Verhältniß stehen, denn der Durchmesser des angewandten Seils muß von jedem Betrage abgezogen werden, ohne welches die kleinern Gänge, gegen die dieser Durchmesser in einem großen Verhältniß steht, zu groß seyn, und dieß schlimmere Defekte herbeiführen würde, als diese verbesserte Einrichtung abzuhelfen bezweckt. Garnett schlug vor, um die mit den Rollen verbundene Reibung zu beseitigen, eine Anzahl kleiner der Reibung entgegenwirkende Räder oder Walzen rings in dem Loche jeder Scheibe anzubringen, so daß der Mittelzapfen, statt

durch ein bloßes Loch in der Scheibe zu gehen, zwischen diesen Walzen durchgienge. Dieß ward indeß nicht nur sehr kostspielig befunden, sondern mußte bei'm Heben großer Lasten in Unordnung gerathen, so daß es nicht sonderlich angewandt ist. Eine sehr bedeutende Verbesserung der Rolle hat der Lieutenant Shuldham gemacht, der die konische Form von White annimmt, aber einen Doppelkegel gebraucht, Basis an Basis gesetzt, nur in einem Stücke, so daß durch solche Anwendung von nur einer einzigen Rolle und daran befestigten Achse zwei große Reibewalzen angebracht werden können, und für jede Klobenwinde zureichend sind. Das Seil geht so durch diese Kloben, daß es im Mittelpunkt endet, mithin ist nicht nur die Reibung, sondern gleichergestalt der Hang, nach einer Seite zu laufen, sehr vermindert; allein da eine doppelte Reihe von Fallen gemacht werden muß, die von den Außenseiten gegen den Mittelpunkt der Kloben gehen, und der Zug durch zwei Stränge statt eines geschieht (letztere folglich kleinere Dimensionen als gewöhnlich haben), so kann die Gefahr der Verwirrung vielleicht größer seyn, als bei gewöhnlichen Kloben. Die Verbesserung der Klobenwinden des Lieut. Shuldham findet man völlig auseinandergesetzt in den Transactions of the Society for the Encouragement of Arts, Manufactures etc. Vol. XXXIV. p. 189, Jahrg. 1816.

Smeaton giebt in seinem Account of the Building of Eddystone Light House eine Beschreibung von den Klobenwinden, die er daselbst gebrauchte; welche sehr einfach und gut sind. Die Hauptverbesserung besteht in der Anwendung von Kloben mit einer ungeraden Anzahl Scheiben, die so stehen müssen, daß das Zugseil über der Mittelscheibe des Klobens, statt an der Seite, herauskömmt, und so der Hang nach der Zugseite zu laufen

verhütet wird; die Form des Klobens auf der Tafel am Obertheile von Fig. 41. hat denselben Zweck; denn hier liegen die Scheiben untereinander auf einzelnen Zapfen, statt nebeneinander auf demselben Zapfen zu liegen, mithin kann der Zug bloß in der Richtung nach unten geschehen. Wenn aber viele Scheiben auf diese Art gebraucht werden, so wird die Länge der Kloben so groß, daß dadurch die Höhe, zu der ein Körper gehoben werden kann, sehr wesentlich verringert wird; sonst ist diese Einrichtung sehr gut.

Die Einrichtung der Rollen, die man Laufkloben (Running Blocks) nennt, macht eine große Krafterspar-niß, aber ist nicht im Stande, Lasten zu einer beträchtlichen Höhe zu heben. Sie ist abgebildet in Fig. 43, worin das Gewicht r an eine einzelne Scheibe gehängt ist. Nachdem, was oben gesagt ist, wird das Seil in s natürlich bloß durch das halbe Gewicht von r angezogen; eine andere einzelne Scheibe ist indeß in s angebracht, die das Gewicht in t auf ein Viertel reducirt; eine dritte Scheibe in t bringt es ferner auf ein Achtel in v, was in diesem Falle zum Zugseile gemacht ist, indem es über die festhängende Scheibe w gezogen ist; allein, wenn mehr Laufrollen angebracht wären, würde jede nachfolgende den Widerstand auf die Hälfte von dem reduciren, was er vorher war. Eine andere sehr einfache und brauchbare Form von Laufkloben ist in Fig. 44. dargestellt, die aus zwei gewöhnlichen Kloben x y mit beliebiger Anzahl von Rollen besteht; der Oberkloben ist hier, statt wie gewöhnlich an einem Haken unbeweglich befestigt zu seyn, an das Ende eines einzelnen Seils geknüpft, was über die einzelne feste Scheibe z geht, und das untere Ende dieses Seils ist oben an den untern Kloben befestigt; die Folge davon ist, daß, wenn auf das Zugseil u Kraft angewandt wird, der Ober-

Kloben x genau so weit hinunter geht, als der Unterkloben y steigt, und beide in der Mitte zusammentreffen. Es wird also dieselbe Quantität Seil herausgezogen, als wenn x ein fester Kloben wäre, während durch seine Bewegung y bloß halb so weit heraufsteigt, als es sonst thun würde. Mithin wird nach den Gesetzen der mechanischen Kräfte, wie sie bereits angegeben sind, wie viel Kraft auch x und y durch ihre Anzahl von Scheiben und Seilen bei der Anwendung auf gewöhnliche Weise gewinnen würden, diese Kraft durch diese Einrichtung verdoppelt werden.

Die geneigte Ebene,

oder das Planum inclinatum, ist die vierte und nächste mechanische Kraft. Sie wird im Maschinenbau selten angebracht, und ist ganz eigentlich anwendbar, um Lasten an Abhängen oder Anhöhen zu bewegen oder zu heben, z. B. ein Faß auf einem lehnenden Brett auf oder von einem Karren, oder in oder aus einem Keller zu wälzen, oder einen Wagen auf einem abhängigen Wege oder an einer Anhöhe zu ziehen, welche Verrichtungen sämmtlich mit minderer Anstrengung gemacht werden, als erforderlich seyn würde, um dieselbe Last perpendikulär in die Höhe zu heben. Die durch die geneigte Ebene solchergestalt gewonnene Kraft wird durch das Verhältniß von deren senkrechten Höhe zu der Länge der geneigten oder abhängigen Fläche bedingt. Z. B. wenn a b Fig. 45. Taf. V. eine Fläche wäre, die sich gegen den Horizont oder die Horizontallinie c b neigte, so ist die Linie a c, die senkrecht auf c b gezogen ist, und die Neigefläche oben in a berührt, ihre Höhe, und so viele Male als die Höhe a c in der Länge der Neigefläche a b enthalten ist, so viel Kraft wird durch diese Neigefläche gewonnen. — Hier ist a c zwei Mal in a b enthalten, wenn also eine Kugel

d von b nach a gewälzt wird, so ist die Bewegung doppelt so lang als a c, ungeachtet ihre wirkliche Elevation nur von c nach a geht, woraus folgt, daß d auf a b mit der Hälfte der Kraft gezogen werden kann, als erforderlich seyn würde, um d in senkrechter Richtung von c nach a zu heben. Die Kraft der Neigefläche kann man durch das Experiment beweisen, daß man ein Seil von dem Wagen f, oder einem andern zu bewegenden Körper über eine einzelne Rolle e, Figur 46 führt, und ein Gewicht g an sein entgegengesetztes Ende hängt; in dieser Figur ist die Höhe des Abhangs sechs Mal in seiner Länge enthalten, mithin wenn das Wagenmodell f sechs Pfund wiegt, wird es in jeder Lage in g mit einem Pfunde balancirt, und ein sehr kleiner Gewichtszusatz wird es auf der Neigefläche hinauf bewegen. Die Kraft der Neigeflächen oder Abhänge kann also durch eine einfache Proportionsregel gefunden werden. Z. B. man will wissen: was für Kraft ein Gewicht von 375 Pfund auf einer Neigefläche balanciren wird, die bei 15 Fuß Länge 6 Fuß in die Höhe steigt? Das Verhältniß wird folgendes seyn — wie 15 Fuß : 6 Fuß = 375 Pfund, zu einer vierten Größe 150 Pfund, was das verlangte Facit seyn wird. Um zu berechnen, was für ein Gewicht die obige Kraft von 150 Pfund auf einer ähnlichen Neigefläche balancire oder halte, muß die Proportion umgekehrt werden, also 6 Fuß : 15 Fuß = 150 Pfund zu 375 Pfund, und bei der Proportion, die bei allen ähnlichen Dreiecken stattfindet, macht es nichts aus, wie klein die genommene Portion des Abhangs oder der Neigefläche sey, um ihre Kraft zu untersuchen, vorausgesetzt, daß ihre Fläche eine ebene Fläche sey, denn die punktirte Linie h i Fig. 45. wird die Hälfte der Länge i b seyn, eben so, wie a c die halbe Länge der ganzen Fläche a b ist. Man kann also einen großen oder kleinen Theil

einer Neigefläche zur Untersuchung ihrer Kraft nehmen, wenn nur das Steigen oder die Elevation, die in diesem Theile statt hat, einzig in Rechnung gebracht wird, und dieß Steigen an wirklichen Abhängen mittelt man am besten aus durch das S. 24 angegebene Nivellirinstrument.

Die obstehenden Bemerkungen über die Kraft der Neigefläche setzen voraus, daß sie ganz glatt und eben sey, und daß die Körper sich auf ihr ohne Reibung oder Behinderung bewegen, was in der Wirklichkeit nie der Fall seyn kann, selbst nicht bei den vollkommensten Maschinen, folglich muß bei der berechneten Wirkung einiger Abzug gemacht werden, und wenn Fuhrwerke auf rauhen oder sandigen Wegen fahren, muß dieser Abzug sehr bedeutend seyn. In obiger Angabe über die Wirkung der Neigefläche wird man den Grund finden, warum Pferde Erleichterung erhalten, wenn sie bei'm Auf- oder Absteigen einer steilen Anhöhe eine Zickzackrichtung nehmen können, weil so die effektive Länge der Neigefläche vergrößert wird, indeß die Höhe einerlei bleibt.

Der Keil

ist die fünfte mechanische Kraft, und erleidet, wie die vorige, in Maschinen nur wenige Anwendung. Er ist indeß ein sehr einfaches und wirksames Geräth, aber eins, was rücksichtlich seiner Kraft, wegen der mit seinem Gebrauch verbundenen Reibung, keinen sehr genauen Experimentsbeweis zuläßt. Die Bewegung eines Körpers durch den Keil wird gemeinlich vermittelst der Schläge eines Hammers oder schweren Schlägels hervorgebracht, und wird auf diese Weise gebraucht, um große Holz- oder Steinblöcke zu spalten. Die Form des Keils ist in Figur 47 abgebildet, aber sein spitziger Winkel kann bedeutend größer oder kleiner seyn, und ob es gleich bei'm ersten An-

blick scheinen mag, daß er einer beweglichen Neigefläche gleicht, so hat er doch den charakteristischen Unterschied, daß man die Neigefläche immer als von einem rechtwinklichen Triangel begränzt ansieht, was bei dem Keil nicht der Fall ist; so bildet der Rücken a c der Neigefläche in Fig. 45. auf ihrer Basis c b einen rechten Winkel, und dieß ist gemeinlich der Fall bei allen Neigeflächen; allein der Rücken k l. des Keils, Fig. 47, macht keinen rechten Winkel mit einer von seinen Flächen oder Seiten k m oder l m, sondern steht im rechten Winkel gegen die von n nach m punktirte Centrallinie, welche von beiden Flächen gleichweit entfernt ist. Und also kann man den Keil als aus zwei Neigeflächen gebildet ansehen, die Fuß an Fuß gesetzt sind, denn k n m ist eine Neigefläche, und l n m die andere, und die Linie n m ist eine beiden gemeinschaftliche Basis: o p q ist ein Stück Holz, in das der Keil getrieben werden soll, es zu spalten. Die Kraft des Keils wird also fast auf dieselbe Weise berechnet als die der Neigefläche; denn wenn das Holz vor dem Keil in irgend einer Entfernung nicht aufspaltet, so ist daselbst ein Gleichgewicht zwischen der Kraft, die den Keil niedertreibt, und dem Widerstande des Holzes gegen seine zwei Seiten. Von der gewonnenen Kraft sagt man gewöhnlich, sie bestimme sich nach dem Verhältniß der halben Dicke des Rükkens zu der Länge von einer der Seiten, oder der Linie l m. Aber wenn das Holz, wie gewöhnlich, vor dem Keile spaltet, wie in der Figur, wo q das Untere der Spalte zeigt, dann wird die Kraft berechnet, nach dem Verhältniß des halben Rückens zu der ganzen Länge der Spalte von ihrem äußersten Punkte q bis zur obersten Höhe des Keils k l, denn k q l wird jetzt der effektive Keil statt k m l. Man ist indeß über die Berechnungsweise der Kraft des Keils nicht einig, welche nach einigen

Schriftstellern sich verhält wie die ganze Breite des Rükkens zu der Gesammtlänge beider Seiten, was eben das ist, als wenn man eine der Seiten nimmt und sie mit dem halben Rücken vergleicht; allein Andere behaupten, daß seine Kraft sich verhält, wie der ganze Rücken k l zu einer der Seiten m l oder m k, und alle die Instrumente, welche gemacht sind, durch Experimente die Kraft des Keils darzuthun, zeugen für die Wahrheit dieser letzten Annahme, ungeachtet sie nur selten zugegeben wird. Angenommen daher, der Keil r s t Fig. 48. wiege zwölf Unzen, wobei seine Länge von s nach t 12 Zoll betragen soll, während seine Breite von r nach s sechs Zoll ist, dann würde der halbe Rücken 3 Zoll betragen, welche vier Mal in seiner Seite enthalten wären, und er muß mithin nach dem mehrentheils angenommenen Gesetz eine vierfache Kraft gewinnen, oder mit seinem vierfachen absoluten Gewicht wirken. In der Maschine, durch welche die Kraft des Keils erläutert werden soll, wird der Widerstand immer durch zwei Walzen v und u dargestellt, die gegen die Mitte und gegeneinander durch Gewichte und Stränge w x gezogen werden, welche in y und z über Rollen gehen, und so in entgegengesetzten Richtungen ziehen; und mithin, wenn ein Keil der beschriebenen Art eine Kraft von 4 erhielte, müßte er im Gleichgewicht seyn, sobald die Gewichte w und x 48 Unzen betrügen; dagegen findet sich, daß dieß der Fall ist, wenn sie zusammen 24 Unzen, oder das doppelte Gewicht des Keils, was der letzten Regel gleichkömmt, betragen; denn der ganze Rücken r s ist nur halb so breit als die Seite s t lang, und da die Walzen v u vor Einbringung des Keils miteinander in Berührung seyn würden, und durch ihn nur bis auf 6 Zoll (nämlich die Entfernung r s) getrennt werden können, so wird dieß die Gesammterhebung der Gewichte w x betra-

gen, während die beiden Seiten des Keils 12 Zoll hinunter gehen. Der Widerstand bewegt sich also halb so viel als die Kraft, und es tritt also hier dasselbe Gesetz ein, wie bei den übrigen mechanischen Kräften, was nicht der Fall seyn würde, wenn die Kraft sich wie der halbe Rükken zu der Seite verhielte. Einige haben beweisen wollen, daß die Kraft des Keils sich verhalte wie der halbe Rücken zu der Centrallinie n m Fig. 47, statt der Seite l m; aber wegen der großen Reibung, die stets mit der Anwendung des Keils verbunden ist, ist es wahrscheinlich, daß keine Berechnung der Wahrheit nahe kömmt, und daß alles, was in Rücksicht der praktischen Anwendung gesagt werden kann, darin besteht, daß je geringer die Breite des Rückens im Verhältniß zu der Seitenlänge ist, desto größer die Wirkung des Instruments seyn wird. Außerdem wird der Keil, wenn sein Winkel spitzig genug ist, vermöge der Reibung jede gemachte Oeffnung offen erhalten, ohne daß Gefahr vorhanden ist, daß sie sich wieder zuschließe, und ohne daß die Anstrengung fortgesetzt zu werden braucht, die die Bewegung hervorgebracht hat. In dieser Hinsicht wird der Keil besonders brauchbar, um große Lasten auf geringe Höhen zu heben, wie bei'm Aufheben der Schiffe auf Gerüste, um sie auszubessern, und er wird in Oel- und andern Pressen angewandt, um die Kraft zu unterhalten, die zuvor gewonnen ist. Messer, Aexte, Beile und viele andere Geräthe zur Spaltung von Materialien wirken nach dem Gesetze des Keils.

Die Schraube

ist die sechste und letzte mechanische Kraft, die sehr stark ist, und sehr allgemein angewandt wird. Wenn eine Schraube sich in beiden Richtungen gleichmäßig frei bewegen kann, so heißt sie schlechtweg eine Schraube; aber wenn

sie an ihren Enden beschränkt ist, so daß sie sich bloß bewegen kann ohne vor- oder zurückzukommen, so heißt sie eine Schraube ohne Ende, und in diesem Falle greift sie gemeinlich in die Zähne eines Rades ein, um dieß Rad entweder zu bewegen, oder von ihm bewegt zu werden; aber ihre Kraft ist in beiden Fällen gleich. Obgleich die Schraube eine mechanische Kraft ist, kann man sie kaum ein einfaches Instrument nennen, denn wegen ihrer großen Reibung hat sie immer der Hülfe eines Hebels nöthig, um gedreht zu werden, und, wenn sie gedreht wird, ist der Betrag ihrer Kraft gleich ihrem Umfange dividirt mit der Distanz zwischen je zwei und zwei Schraubengängen. Der Grund, warum die Kraft der Schraube auf diese Weise berechnet wird, ist, weil sie wirklich nichts weiter ist, als eine Neigefläche, die rings um einen Cylinder gelegt ist, statt eine fortgesetzte gerade Linie zu seyn. Dieß kann man sehen, wenn man ein Stück Papier in Gestalt eines sehr spitzigen rechtwinklichen Dreiecks schneidet, wie die Neigefläche Fig. 46, und es um einen cylindrischen Stift windet, wie in Fig. 49, da die Oberfläche der Neigefläche sogleich eine Schraube bilden wird. Nimmt man also den Umfang einer Schraube, so ist dieß bloß eine andere Weise, die Länge der Neigefläche, die sich herum windet, zu messen, und nimmt man die Entfernung zwischen einem Gange und dem zunächst liegenden, so ist dieß bloß so viel, als das Steigen dieser Neigefläche bei dieser Länge zu messen, und aus den Eigenschaften der Neigefläche folgt, daß, je dichter die Gänge einer Schraube, im Verhältniß zu ihrem Durchmesser beisammen sind, desto größer die dadurch gewonnene Kraft seyn wird.

Fast alle die verschiedenen gewöhnlichen Pressen hängen in ihrer Wirkung von der Schraube ab, indeß die Schraube ohne Ende höchst brauchbar ist, um einem Räder-

werk eine sehr langsame Bewegung mitzutheilen; denn der Zahn eines Rades wird nur so weit vorrücken, als die Distanz zwischen zwei Schraubengängen beträgt, während sie sich ganz umdreht, es sey denn daß mehrere Neigeflächen um den Cylinder absichtlich angebracht wären, um eine schnellere Bewegung hervorzubringen, und dann heißt die Schraube eine doppelte, dreifache 2c. je nach der Anzahl der angewandten Neigeflächen. Die Schraube ist nicht nur wichtig, um große Kraft zu gewinnen, sondern auch um sehr zarte und feine Bewegungen hervorzubringen, und sie zu messen; denn wenn eine Schraube gut gemacht ist, und behende wirkt, so kann man als ausgemacht annehmen, daß alle Gänge derselben gleichweit voneinander entfernt sind. Wenn also die Gänge einer Schraube so fein sind, daß sie sich nur mit Mühe zählen lassen, aber man findet, daß das 500malige Umdrehen der Schraube ihre Spitze einen Zoll vorwärts bringt, so folgt, daß die Gänge den 500sten Theil eines Zolls voneinander stehen müssen, und da die Circumferenz des großen Kopfes einer Schraube in 100 gleiche Theile getheilt werden kann, so wird, wenn die Schraube um den Betrag eines dieser Theile gedreht wird, ihre Spitze nur um den 50,000sten Theil eines Zolls vorrücken. Auf diese Weise macht man die Schrauben-Mikrometer, die an Mikroskopen und Teleskopen angebracht werden, um sehr kleine Gegenstände zu messen; aber die Schraube wird selten so fein gemacht, wie hier bemerkt ist. Astronomische und zu andern genauen Arbeiten bestimmte Instrumente werden durch Richtschrauben bewegt, und das schätzbare Eintheilungsinstrument von Ramsden, was jetzt so allgemein im Gebrauch ist, und wodurch die Eintheilungen astronomischer Instrumente in England zu ihrer jetzigen Vollkommenheit gebracht sind, verdankt seine Vorzüglichkeit der genauen und langsamen Bewegung der Schraube.

Rad und Achse und die Schraube lassen ihre Kraft durch sehr einfache Mittel fast in's Unendliche steigern. Nimmt man z. B. an, daß a b Fig. 50. einen Cylinder von gleichen Dimensionen von einem Ende bis zum andern vorstellt, um den die zwei Enden einer Schnur in entgegengesetzten Richtungen gewunden sind, indeß der Mitteltheil der Schnur unter die Rolle d geht, und mit einem Gewicht beschwert ist, so ist es augenfällig, daß das Umdrehen des Cylinders a b nach jeder Richtung kein Steigen oder Fallen des Gewichts bewirken wird, weil, wenn die Schnur von dem Ende a losgewunden wird, sie eben so schnell sich auf b windet, und umgekehrt. Aber wenn ein Ende der Rolle stärker gemacht ist als das andere, wie in b der Figur, dann windet sich die Schnur geschwinder auf b auf oder ab, als das Ende a sie aufnehmen oder hergeben kann, und dann muß die Rolle und das Gewicht d steigen oder fallen, sobald a b gedreht wird, und da der kleinste Unterschied in dem Durchmesser der Enden a und b diese Wirkung hervorbringen wird, so sieht man, daß durch Veränderung derselben d jeden Grad von Geschwindigkeit erhalten kann, zwischen völliger Nichtbewegung und der geschwindesten Bewegung.

Die oben angedeutete Modification der Schraube ist in Fig. 51. abgebildet, und ward zuerst von Hunter in den Philosophical Transactions Vol. 71. beschrieben. — e e ist das Bodenbrett einer gewöhnlichen Presse, und f das bewegliche oder Druckbrett, was durch die Schraube h niedergedrängt wird, welche wie gewöhnlich sich im obern Queerbalken g dreht. Die Schraube h ist aber hohl, um eine andere Schraube i aufzunehmen, die auf sie wirkt, allein in dem Brette f auf solche Weise befestigt ist, daß sie sich nicht umdrehen kann. Wären nun die Gänge der beiden Schrauben h und i von einerlei Größe, so ergiebt

sich, daß das Drehen von h keine Bewegung in dem Brette f hervorbringen würde, weil die Richtung, die h nach unten triebe, i in demselben Grade in h hinaufschrauben würde, und folglich f und g dieselbe Entfernung von einander behaupten würden; doch wenn die Gänge auf h oder i auf dem einen feiner als auf dem andern sind, so wird die eine Schraube schneller hinuntergehen als die andere hinauf, und sich folglich f bewegen. Je mehr sich die Gänge gleichkommen, desto langsamer wird die Bewegung seyn, mithin kann die Kraft der Schraube auf diese Weise zu jedem Grade vermehrt werden, ohne daß es nöthig ist, die Dauerhaftigkeit durch Verfeinerung der Gänge zu vermindern.

Ungeachtet die Berechnungsweise des durch Anwendung der verschiedenen mechanischen Kräfte gewonnenen Vortheils angegeben ist, so ist es doch bei Abschätzung der Kraft jeder zusammengesetzten Maschine, die mehrere davon enthält, nicht nöthig, die für jede einzelne bestimmten Regeln in Anwendung zu bringen, sondern wegen des unabänderlich bestehenden Verhältnisses zwischen Bewegung und Kraft braucht man bloß die beiden Extreme einer solchen Maschine miteinander zu vergleichen, ohne die innere Einrichtung zu berücksichtigen, außer in so weit, als die Reibung in Betracht kömmt. Auf solche Weise wird die Berechnung der Maschinenkräfte sehr abgekürzt und erleichtert. So z. B. wenn man einen Krahn zum Aufwinden von Gütern hat, der ein Paar Kloben mit verschiedenen Fallen enthält, worauf zwei oder drei gezähnte Räder und Getriebe wirken, wovon das letzte durch die auf eine Winde oder Kurbel angebrachte menschliche Kraft bewegt wird, wodurch sich eine in das letzte Rad eingreifende Schraube ohne Ende dreht, so ist es klar, daß eine solche Maschine den größten Theil der mechanischen Kräfte ent-

hält, und daß die Berechnung ihrer Kraft langweilig seyn würde; erst müßte die Kraft der Kloben abgeschätzt werden, und diese würde multiplicirt werden durch den Gewinn welcher durch die Wirkung des ersten Zahnrades auf die Walze oder den Cylinder, auf den das Seil gewunden ist, als Rad und Achse betrachtet, entspringt, das zweite und dritte gezähnte Rad und Getriebe müssen auf dieselbe Weise behandelt werden; dann folgt die Schraube, worauf die Winde als ein Hebel der ersten Art wirkt, und die durch beide gewonnene Kraft muß veranschlagt werden. Statt alles dessen kann man aber die Bewegung der Winde unmittelbar mit der des Gewichts vergleichen, ohne Rücksicht auf die Theile, woraus die Maschine zusammengesetzt ist, und man wird ihre Kraft eben so gut ausmitteln. Z. B. wenn die Kurbel so lang ist, daß der Zirkel, den er bei'm Umdrehen beschreibt, drei Fuß im Durchmesser hält, so wird, da der Umkreis eines Zirkels mit einer runden Zahl sein dreifacher Durchmesser genannt werden kann *), die Distanz, die die Menschenhände bei jedem Umdrehen durchwandern, 9 Fuß betragen. Die wirkliche Bewegung der Last während einer Umdrehung (oder jeder gegebenen Zahl von Umdrehungen, die man der größern Genauigkeit wegen bei'm Messen nehmen kann) des Bengels muß sodann genommen, und die Bewegung des Bengels durch die der Last dividirt werden, worauf

---

*) Der Umfang eines Zirkels ist größer als sein dreifacher Durchmesser, und im Allgemeinen ist es eine sehr zweckmäßige Regel, das Verhältniß des Durchmessers zum Umkreise wie 113 zu 355 anzunehmen. Dieß ist zu den meisten praktischen Zwecken genau genug, und läßt sich leicht behalten, weil die Ziffern in dem obigen Verhältniß aus zwei 1, zwei 3, und zwei 5en bestehen, die die ersten drei ungeraden Zahlen sind, und die bloß in der Mitte in zwei gleiche Abtheilungen von je drei getheilt sind.

der Quotient die Kraft der Maschine giebt. Wenn also die Last bei jeder Umdrehung des Bengels, die 9 Fuß beträgt, um einen Zoll steigt, dann wird, da ein Zoll 108 Mal in 9 Fuß enthalten ist, die theoretische Kraft der Maschine 108 betragen, oder 108 Pfund bei einer einpfündigen Kraftanwendung heben, und der Bengel sich 108 Mal so schnell als die Last bewegen.

Die Kraft heißt hier die theoretische, weil keine Maschine im Stande ist, bis zu ihrer vollen berechneten Kraft zu wirken, wegen der beständigen Reibung und anderer Mängel, denen alle Maschinen unterworfen sind, und die aus der Unbiegsamkeit der Stricke und der Unvollkommenheit der Arbeit entstehen. Deßhalb wird es in allen Fällen nothwendig, einen Abzug wegen der Differenz zwischen der theoretischen und wirklichen Leistung einer Maschine zu machen, der im Durchschnitt etwa ein Drittel der berechneten Kraft beträgt. Dieß ändert sich aber durchaus nach den Umständen, und läßt natürlich keine Berechnung zu, sondern kann bloß durch Versuche ausgemittelt werden.

Die Ursache der Reibung wird der Unregelmäßigkeit der Oberfläche der Körper beigemessen, die sich aufeinander reiben; denn die Hervorragungen oder Erhabenheiten der einen greifen in die Vertiefungen oder Höhlungen der andern ein, und verursachen so einen Widerstand gegen jede Bewegung; und dieß ist wahrscheinlich der Grund, warum ungleiche Substanzen weniger der Reibung ausgesetzt sind, als wenn dieselben Stoffe gebraucht werden. Die Erfahrung beweis't, daß ein Stück polirtes Eisen oder Stahl sich weit leichter auf einem Stück polirten Messings bewegt, als wenn zwei solche Stücken Eisen oder Stahl, oder zwei Stücken Messing zusammen gebraucht werden, und dieß ist der Grund, daß man in Maschinen die Eisen-

oder Stahlzapfen meistentheils im Messingfutter laufen läßt. In den besten Taschenuhren gehen die Stahlspindeln in Demanten oder Rubinen, wodurch die Reibung noch mehr vermindert wird. Der Grund, warum die Reibung bei ungleichartigen Stoffen geringer ist, scheint darin zu liegen, daß die kleinen Vorragungen und Vertiefungen bei verschiedenen Substanzen unähnlich sind, und deßhalb nicht in einander passen *). Z. B. wenn k und l Figur 52. zwei Eisenstücke von einerlei Art vorstellen, so kann man vernünftigerweise annehmen, daß jedwede Unregelmäßigkeit auf der Oberfläche des einen eben so auf der des andern vorhanden, und auch daß sie dieselbe Gestalt und Größe haben wird. Versucht man daher, k über l gleiten zu lassen, so werden die Unregelmäßigkeiten in einander passen, und große Reibung oder Widerstand gegen die Bewegung veranlassen. Doch wenn das eine Stück von Eisen bleibt, wie n Fig. 53, und ein anderes von verschiedener Textur, als von Messing oder Glockenspeise, darauf gebracht wird, wie m, dann wird, weil nun die Unregelmäßigkeiten so gestaltet sind, daß sie nicht, oder doch in einem mindern Grade ineinander greifen, die Reibung und Schwierigkeit der Bewegung beträchtlich vermindert. Oel und Unschlitt haben die Eigenschaft, die Reibung zu vermindern, wenn sie auf Metalle gebracht werden, und Seife oder gepülvertes Reißblei leisten eben dasselbe bei'm Holzwerk, und diese Kraft entsteht, aller Wahrscheinlichkeit nach, daher, daß diese Dinge die Ungleichheiten ausfüllen, die vorhin das Uebel verursachten. Daß die genannten Unregelmäßigkeiten auf allen Oberflächen vorhanden sind, kann man durch die Untersuchung derselben mittelst eines Mikroskops beweisen; allein natürlicherweise sind sie in einem viel geringern Grade vorhanden, als in den Figuren gezeigt ist; ja man findet zuweilen,

daß eine zu glatte Fläche nachtheilig wird, weil dabei die Theile in so dichte Berührung gebracht werden, daß die Cohäsionsanziehung zu wirken anfängt.

Die Reibung (Friktion) ist von zweierlei Art, nämlich die bereits beschriebene wirkliche Reibung, und die Reibung durch Zusammenstoßen, die auch die Reibung der zweiten Art heißt. Ein Wagen, dessen Rad gehemmt ist, oder freie Bewegung hat, giebt einen sehr guten Beleg für beide Reibungsarten; denn wenn das Rad gehemmt ist, so daß es sich nicht umdrehen kann, so kann sich der Wagen nicht bewegen, ohne daß die Radfelge auf dem Wege schurrt, und eine Reibung der ersten Art entsteht; allein sobald das Rad sich frei umdreht, und jeder Theil der Felge nach und nach mit dem Wege in Berührung kömmt, so entsteht eine Reibung der zweiten Art. Bei einfachen Maschinen wird die Reibung der ersten Art sehr oft in die der zweiten verwandelt und zwar durch Reibewalzen. So ist in Atwood's oben bemerktem Apparat diese Einrichtung gemacht, um die Reibung der Rolle, worüber das Seil geht, zu vermindern. Man sieht sie in Fig. 54, wo o die große Rolle ist, die das Seil mit seinen zwei Gewichten enthält, und p ihre Achse oder ihr Getriebe. Dieses, statt sich in einem Loche durch Messing zu bewegen, liegt in der Oeffnung, die durch die beiden Messingräder q und r gebildet wird, die in besondern Getrieben laufen, und etwas hintereinander liegen. Ihre Lage ist so, daß der Abstand ihrer beiden Mittelpunkte etwas weniger beträgt, als ihr eigener Durchmesser. Hiervon ist die Folge, daß die Reibung sehr vermindert wird, denn während sich das große Rad o in der Richtung des darauf angebrachten Pfeils umdreht, bewegen sich die vier kleinern Rollen, q, r, und zwei ähnliche an der entgegengesetzten Seite des Ra-

des o (die in dieser Figur natürlicherweise nicht bemerkbar sind) in entgegengesetzten Richtungen. Es kann scheinen, daß auf diese Art sechs Getriebe anstatt zweier angewandt sind, aber da ein Rad, was sich auf einem Zapfen dreht, wirklich ein Hebel der ersten Art ist, worin der Radius des Rades der thätige, und der Radius des Zapfens der widerstrebende Arm ist, so wird natürlich die Reibung durch diese mechanische Kraft überwunden, und kann folglich in einem beträchtlichen Grade vermindert werden. Eben dieser Einrichtung ist bei Beschreibung der Klobenwinden von Garnet und dem Lieut. Schuldham oben erwähnt.

Es erhellet also, daß Reibung der ersten Art die Bewegung der Körper sehr hemmt, während die der zweiten Art auf glatten Wegen von geringer Bedeutung ist, oder wo keine Hindernisse stattfinden, vorausgesetzt, daß die Einrichtung der Räder oder Reibewalzen von der Art ist, daß die Bewegung erleichtert wird. Ein Cylinder wird wegen seiner Gestalt auf einer Fläche sich geradeaus bewegen, indeß ein Kegel oder ein abgeschnittener Theil desselben in einem Kreise läuft. Dieß macht zugleich die passende Form der Räder bemerklich; wiewohl cylindrische Räder selten gebraucht werden, und unsere schwersten Wagen immer konische haben. Es leuchtet indeß ein, daß, wenn ein Kegel gezwungen ist, sich gerade aus zu bewegen, oder ein Cylinder in einem Zirkel laufen muß, eine große Reibung entstehen, und daß dadurch die Reibung der zweiten Art in die der ersten verwandelt wird. Dieß kömmt daher, daß konische Räder an ihren entgegengesetzten Seiten verschiedene Durchmesser haben. So ist Fig. 55. ein Profil von solchen Rädern, die gewöhnlich bei breiten Räderwagen gebraucht werden, und da die inwendigen Durchmesser s t

größer sind als die äußern r r und r r, so ist es bei diesen Umständen unmöglich, daß der Zirkel oder Rand von s t sich mit derselben Geschwindigkeit umdrehen kann, wie der in r r, weil bei einer Reibung durch Zusammenstoßen jeder Theil des sich umdrehenden Kreises nach einander mit dem Wege oder der Fläche w w in Berührung kommen muß. Daß die Räder sich mit Widerstand bewegen, zeigt sich augenscheinlich, wenn man ein's derselben in der Richtung der punktirten Linie w x mitten durch schneidet, da man sieht, daß die Hälfte von r r, die den kleinsten Durchmesser hat, sich viel schneller als die größere Hälfte s t umdreht, wenn die Räder einem Tische entlang bewegt werden. Auch müssen die Achsenschenkel niederwärts gebogen werden, damit die konischen Flächen v t, t v des Rades mit dem Boden in Berührung kommen können, und wenn gleich diese Beschaffenheit der Einrichtung rücksichtlich der Stärke Vortheile haben kann, so muß man doch eingestehen, daß die Basis, worauf der Wagen steht, oder die Distanz von r nach r, sehr verkleinert wird, wodurch die Gefahr des Umwerfens vermehrt wird, indeß die Wirkung eines gerade vorwärts auf einem Wege bewegten Kegels die seyn wird, daß er die Materialien des Weges zu Staub zermalmt. Droguereimühlen bestehen im Durchschnitt aus großen und schweren cylindrischen Steinen, die sich auf ihren Rändern in sehr kleinen Zirkeln um einen Mittelpfosten drehen: durch diese Einrichtung wird eine zerreibende Wirkung hervorgebracht; denn ein Cylinder, der sich in einem Zirkel umdreht, wirkt auf dieselbe Weise wie ein Kegel, der sich in gerader Linie bewegt. Fig. 56. ist der Riß einer Materialmühle, wo c c c der eiserne Boden oder die Fläche ist, worauf die Stoffe zum Zerreiben gebracht werden, und y y z z der cylindrische Stein, der sich um das Centrum e durch Anstrengung eines Pferdes oder einer andern Kraft,

die am Ende des langen Hebels d angebracht wird, dreht; der äußere Rand y y des Steins beschreibt den Zirkel b b, und bringt natürlicherweise alle seine Punkte nach der Reihe mit b b in Berührung, indeß die innere Fläche z z bloß den viel kleinern Zirkel a a beschreibt; da aber y y und z z gleich sind und sich in derselben Zeit umdrehen, während a und b sehr ungleich sind, aber doch auch in derselben Zeit durchlaufen werden, so folgt, daß eine größere Reibung als die durch Zusammenstoßen allein hervorgebracht werden muß, und diese Reibung ist es, die die Materialien zerreibt oder zermalmt, mehr als das Gewicht des Steins. Wenn der Stein y y z z aus einer Anzahl von dünnern Steinen bestände, wie durch die queer durchgezogenen punktirten Linien angedeutet ist, so würde man finden, daß jede Abtheilung sich mit einer verschiedenen Geschwindigkeit umdrehen, und die Mühle die Zermalmungskraft verlieren würde.

Nach vielen, um die Kraft der Reibung zu bestimmen, angestellten Versuchen, scheint sie in einem geringern Verhältniß als das des Gewichts des sich bewegenden Körpers zuzunehmen, wiewohl dieser Schluß der allgemein angenommenen Meinung entgegen ist und der Versuch seine Gränze hat; denn wenn die sich bewegende Fläche zu klein oder zu schmal ist, ihr eigenes Gewicht tragen zu können, so wird sie nicht gleichförmig tragen, und in eine Rinne oder Kerbe gerathen, wodurch die Reibung noch vermehrt werden würde.

Wie vollkommen aber auch eine Maschine gemacht seyn mag, so ist doch Reibung im gewissen Grade durchaus immer vorhanden, und kann nicht verhütet werden. Es folgt also, daß die Kraft, die an einem Ende einer

Maschine angebracht ist, nie ohne Verlust dem anderen mitgetheilt werden kann; und daraus wird sogleich erhellen, daß eine immerwährende Bewegung (das perpetuum mobile) unmöglich ist, weil diese voraussetzt, daß einer Maschine eine gewisse Kraft mitgetheilt und durch alle ihre verschiedenen Bewegungen vom Anfang bis an's Ende der Maschine übertragen werden, und dort unvermindert zurückgegeben werden muß, um abermals dem Anfange der Maschine mitgetheilt zu werden. Nur so kann eine Wiederholung derselben Einwirkung, die sie zuerst machte, hervorgebracht werden, weil sonst der Gang der Maschine nicht unterhalten werden könnte. Da aber keine Wirkung hervorgebracht werden kann, die größer als ihre Ursache ist, und da die Ursache durch Reibung, durch die vis inertiae etc. bei ihrer Uebertragung durch eine Maschine vermindert werden muß, so kann sie nicht mit einer Kraft, die der anfänglichen gleich kömmt, erneuert werden; folglich muß eine immerwährende Bewegung als unerreichbar betrachtet werden, insofern sie eine Erneuerung der Kraft bedingt, die keine Maschine sich selbst geben kann.

Auf den ersten Anblick kann es scheinen, daß Schwungräder und Federn die Kraft der Maschinen unterstützen, weil ein Mensch eine Maschine, die ein schweres Schwungrad hat, eine weit längere Zeit dreht, als er es ohne dasselbe kann; Pferde ziehen eine schwerere Last auf Federn in einer gegebenen Zeit mit minderer Anstrengung als auf einem Wagen ohne Federn. Es ist aber gewiß, daß sie diese Wirkung nicht haben. Ein Schwungrad erleichtert zwar in vielen Fällen die Bewegung einer Maschine, aber es kann dieß bloß vermöge seines Moments oder seiner bewegenden Kraft, und da jede Bewegung eine Kraft bedingt, die sie hervorbringt, und ihre Stärke nie das Maaß ihrer bewegenden Kraft überschreiten kann, so muß

so viel Kraft dem Schwungrade zu seiner Bewegung mitgetheilt seyn, als es möglicherweise wieder zurückgeben kann. Die große Wichtigkeit des Schwungrades beruht darauf, daß es seine Kraft in einem gewissen Zeitraum erhält, und sie in einem andern zurückgiebt, da sie vielleicht am nöthigsten ist. Wenn daher ein Mensch eine Maschine durch das Umdrehen einer Winde bis beinahe zur Brusthöhe bewegt, so hat er sehr verschiedene Grade von Kraft bei verschiedenen Theilen jedes Umdrehens nöthig, denn während er von der untersten Stelle nach oben gegen sich zu dreht, kann er eine ungeheure Kraft anwenden im Vergleich zu der, welche er hervorzubringen vermag, wenn er von der höchsten Stelle nach unten und von sich ab dreht. Im ersten Falle wird er also wahrscheinlich im Stande seyn, weit mehr Kraft anzuwenden, als die Maschine nöthig hat, indeß im letztern seine Stärke kaum zureichen dürfte; hat aber die Maschine ein Schwungrad, so ist die im ersten Augenblick überflüssig angewandte Kraft, nicht verloren, sondern wird bei solchem Schwung- oder Flugrade zum Moment, und wird ihm für den letzten Fall zu Hülfe kommen. Die Arbeit wird auf diese Weise gleichförmig und regelmäßig gemacht, und folglich weniger Anstrengung machen, als sie es sonst würde. Ein Schwungrad kann deßhalb als ein Behälter für die überflüssige Kraft angesehen werden, die es vermöge seiner vis inertiae und seines Moments regulirt und gleichmäßig vertheilt. In dieser Hinsicht wird es bei der Dampfmaschine äußerst nützlich und wichtig, da es angewandt wird, um regelmäßige Rotationsbewegung hervorzubringen; denn die Kraft der Maschine wirkt nur, während ihr Kolben auf- und niedergeht, und hört auf, während die Veränderung der Richtung bewirkt wird; aber bei Anwendung eines Schwungrades unterhält das Moment, was dieses während dem Auf- oder Niedersteigen des Kolben erhält, die regel-

mäßige Bewegung der Maschinerie während der kurzen Zeit des Aussetzens. (Vergl. die Dampfmaschine in dem Abschnitt über Hydrostatik.)

Eine Feder, wie sie z. B. in Uhren zur Hervorbringung der Bewegung gebraucht wird, erfordert eine gewisse Kraft zum Aufwinden oder sie so zu beugen, daß sie in Thätigkeit tritt, und kann nie mehr Kraft zurückgeben, als sie empfangen hat. Der Grund, warum Wagen sich auf Federn leichter bewegen, als ohne dieselben, ist, daß die Räder oder die Wagentheile von der Masse oder Last durch dergleichen Federn abgeschnitten sind, und mithin die vis inertiae der Last es verhütet, daß sie an allen Bewegungen, die die Ungleichheiten des Weges hervorbringen würden, Theil nimmt. Die Wagenräder müssen sich in alle Vertiefungen senken, und über alle die Steine und Hervorragungen, über die sie gehen, gehoben werden, und so muß ein Theil der Kraft der Pferde verloren gehen, um solchergestalt eine Bewegung nach oben und unten oder senkrecht hervorzubringen, während sie sich geradeaus bewegen; wenn aber Federn zwischen der Last und den Rädern liegen, so können die senkrechten Bewegungen der Räder bloß durch die Federn der Last mitgetheilt werden, und da eine schwere Masse wegen ihrer vis inertiae nicht sehr schnell in Bewegung gesetzt werden kann (vgl. die vierte Eigenschaft der Materie), so wird durch das Biegen der Federn der größte Theil der Räderbewegung überhaupt nie der Masse oder Last mitgetheilt, und so wird der Widerstand gegen die Geradeausbewegung derselben sehr verringert.

Fünfter Abschnitt.

Pneumatik

oder

die mechanischen Eigenschaften der Luft.

Die Erde, die wir bewohnen, ist ganz von einer dünnen, durchsichtigen und unsichtbaren Flüssigkeit umgeben, welche Luft heißt, und deren mechanische Eigenschaften in der Wissenschaft, die wir Pneumatik nennen, erörtert werden. Diese Luft mit Einschluß aller der Gasarten, Dämpfe, Dünste und Exhalationen, die beständig in sie einströmen, und welche Wolken bilden, wird im Allgemeinen die Atmosphäre benannt. Atmosphärische Luft ist folglich von gemischter Beschaffenheit, aber im reinen Zustande besteht sie nach der chemischen Analyse aus zwei permanent elastischen Gas- oder Luftarten, dem Stick- und Sauerstoffgas im Verhältniß von 79 Theilen des ersten zu 21 Theilen des letzten an Maaß, oder 77 und 23 Theilen an Gewicht, und je nachdem die eine oder andere Gasart die Oberhand hat, ist die Luft mehr oder weniger gesund.

Obwohl die Luft unsichtbar ist, so ist sie doch materiell, und hat alle die Eigenschaften, die der übrigen Materie im Allgemeinen zukommen; denn sie nimmt

einen Raum ein, und zieht an und wird angezogen, und hat mithin Gewicht. Auch nimmt sie Theil an der Natur der Flüssigkeiten, denn sie fügt sich in die Gestalt des Gefäßes, das sie enthält, und drückt gleichmäßig in allen Richtungen, und muß mithin als eine materielle Flüssigkeit betrachtet werden. Allein insofern sie höchst elastisch ist, wie alle Gasarten, Dämpfe und Dünste überhaupt, indeß die sichtbarern und antastbarern Flüssigkeiten, als Wasser, Oel, Weingeist u. s. w. diesen Charakter in sehr geringem Grade besitzen, so erfordert sie eine besondere Untersuchung, wie bereits oben im Anfang der Mechanik bemerkt ist.

Die mancherlei Luft = oder Gasarten heißen permanent elastisch, weil sie unter allen Veränderungen, die auf sie einwirken können, den Charakter der Flüssigkeit und Elasticität behaupten, und nicht erstarren oder sich in einen festen Zustand umwandeln lassen. Mit Dämpfen und Dünsten ist die Sache sehr verschieden, denn sie entstehen aus unelastischen Flüssigkeiten durch Anwendung der Wärme, und sie sind höchst elastisch, so lange sie ihre Dunstform behaupten; aber sobald sie abgekühlt sind, gehen sie in den ursprünglichen Zustand ihrer tropfbaren Flüssigkeit zurück, und unterscheiden sich dadurch sehr wesentlich von der Luft, so daß man sie nicht permanent elastisch nennen kann. Das Wasser giebt hiervon einen sehr guten Beleg, denn es ist fast unelastisch (vergl. Hydrostatik), aber der Wasserdampf ist im höchsten Grade elastisch; wird dieser Dampf abgekühlt, so kehrt er in seinen ursprünglichen Wasserzustand zurück, und nimmt natürlicherweise dessen ganze erste Beschaffenheit an. Da die Luft Gewicht hat, und Alles auf der Erde davon eingeschlossen oder umgeben ist, so folgt, daß alle Gegenstände ihrem Drucke ausgesetzt sind, der nicht nur auf dieselben, sondern auf die Luft selbst wirkt, und da die Luft elastisch ist oder dem

Drucke nachgeben kann, so muß natürlich der unterste Theil der Atmosphäre dichter, oder in einem Zustande von größerer Compression seyn, als es der oberste ist. Man nehme z. B. an, daß die ganze Höhe der Atmosphäre in 100 gleiche Theile getheilt sey, und daß jeder Theil eine Unze wiegt, oder dem Produkt eines solchen Drucks gleichkömmt, dann wird die Erde und alle Gegenstände auf ihrer Oberfläche durch die sämmtlichen 100 Unzen gedrückt, die unterste Luftschicht von den 99 darüber befindlichen Unzen, die folgende von 98, und so weiter, bis wir zu der 99sten Schicht vom Boden an kommen, die folglich nicht mehr als eine Unze Druck erleidet, oder das Gewicht der letzten und höchsten Schicht.

Jede Art von Feder dehnt sich aus oder zieht sich zusammen, bis sie mit der auf sie einwirkenden Kraft in den Zustand des Gleichgewichts gelangt; dieß wird sehr klar durch die Federschnellwaage in Fig. 56. Taf. VI., wo a b eine Feder ist, die in a auf die Tragsäule c geschraubt ist, indeß ihre Spitze b sich über den mit Graden versehenen Bogen d bewegt. Während die Schaale e leer ist, steht die Spitze b oben in der Mitte des Bogens, wird aber ein Gewicht in e gelegt, so wird die Spitze niedergedrückt, wie in der Richtung der punktirten Linie nach d, und ein größeres Gewicht würde sie noch mehr niederdrükken, und das Gewicht, also in e gebracht, würde auf solche Weise durch die Abtheilungen auf d angedeutet werden.

Die Luft wirkt auf dieselbe Weise, denn da sie elastisch ist, so giebt sie natürlicherweise jeder Kraft nach, die auf sie eindrückt, bis ihre Federkraft dieser Kraft das Gleichgewicht hält, und bloß aus diesem Grunde empfinden wir den Druck der Luft nicht; denn wiewohl man berechnet

hat, daß der menschliche Körper von gewöhnlicher Größe nicht weniger als einen Luftdruck von 32,400 Pfund zu tragen hat, so giebt doch die Federkraft der im Körper enthaltenen Luft ein genaues Gleichgewicht oder Gegenwirkung gegen den Druck von außen, und läßt uns einen Druck überhaupt gar nicht empfinden; die Federkraft und der Druck der Luft halten sich also einander immer das Gleichgewicht, außer wenn die Verbindung abgeschnitten ist, und das natürliche Gleichgewicht durch eine störende Ursache aufgehoben ist.

Die Luftpumpe ist das Instrument, das man gemeinlich anwendet, um dieß Gleichgewicht aufzuheben; denn mittelst dieser Maschine kann die Luft inwendig aus Gefäßen genommen werden, die man auf ihre Platte setzt, und dann zeigen sich sogleich die Wirkungen der äußern und nicht betheiligten Luft. Wenn also z. B. ein kleiner gläserner Recipient, der unten und oben offen ist, auf die Platte einer Luftpumpe gesetzt wird, und auf ihn die flache Hand gelegt wird, so daß er völlig zugeschlossen ist, ohne eine Oeffnung zum Eindringen der äußern Luft zu lassen, so wird, sobald die Pumpe in Thätigkeit gesetzt wird, die Hand kräftig auf den Recipienten niedergehalten, und kann nicht ohne Mühe wieder losgemacht werden; denn indem die Luft im Glase verdünnt oder in Masse vermindert ist, so erhält die äußere Luft das Uebergewicht, wodurch die Hand niedergedrückt wird, indeß die Federkraft derjenigen Luft, die in der Hand enthalten ist, macht, daß die untere Seite der Hand anschwillt, und beträchtlich tief in das Glas eindringt. Dieß ist nur eine Abänderung des (S. 8) bemerkten Experiments, wo nämlich eine Blase platzt, wenn sie oben über einen offenen Recipienten gebunden ist; denn sobald die Federkraft der Luft durch Entziehung der Menge vermindert ist, so hat das Gewicht der

äußern Luft Kraft genug, eine ausgespannte Blasenhaut zu zersprengen, und auf den Teller der Pumpe mit einem starken Knall zu stürzen.

Hieraus ergiebt sich zugleich die Nothwendigkeit, daß alle Gläser über der Luftpumpe oben hemisphärisch oder rund seyn müssen, damit sie dem Druck der äußern Luft ein Gewölbe oder einen Bogen darbieten, und alle solche Gläser werden im Allgemeinen Recipienten genannt. Wenn ein oben offener Recipient von 6 Zoll Durchmesser mit einem Stück dünnen Fensterglases, statt mit Blashaut, bedeckt wird, so zerbricht es der Druck der äußern Luft. Doch dieß ist ein gefährlicher Versuch, und muß mit großer Vorsicht gemacht werden, weil die Glasstücken nach allen Seiten gewaltsam umherfliegen. Aus eben dem Grunde muß man sich sehr in Acht nehmen, daß kein ausgepumpter Recipient zerbricht.

Daß die Federkraft der Luft dieselbe im Verhältniß zu dem Betrage des äußern Drucks ausdehnt, kann man bei folgendem Versuche sehr gut sehen. Man nehme eine Blase entweder mit oder ohne Schlußhahn und drücke fast alle Luft heraus, dann schließe man entweder den Hahn, oder binde die Mündung mit einem starken gewichsten Bindfaden sehr dicht zu; so bringe man sie unter einen Recipienten auf den Teller einer Luftpumpe, und pumpe die Luft aus. Die Blase wird anfangs leer scheinen, weil der Druck der umgebenden Luft im genauen Gleichgewicht mit der Federkraft der Luft in der Blase ist. Durch fortgesetztes Auspumpen wird die umgebende Luft verdünnt, und ist nicht länger im Stande, dieser Federkraft zu widerstehen. Die Blase dehnt sich also allmälig aus, bis sie zuletzt, wenn der Recipient hinlänglich ausgeleert ist, ganz aufgeblasen erscheint, und oft sogar platzt. Wird aber mit der

Bewegung der Pumpe inne gehalten, ehe dieß stattfindet, und die Luft durch den Hahn wieder in den Recipienten gelassen, so zieht sich die Blase in ihre ersten Dimensionen zurück, und beweis't so, daß keine neue Luftmenge in sie gekommen sey, sondern die Federkraft der früher darin enthaltenen Luft die Wirkung hervorgebracht habe. Dieß Experiment wird oft dadurch abgeändert, daß man die Blase in einen Rahmen bringt und Gewichte darauf setzt, da sie sich nicht nur ausdehnen, sondern zugleich die Gewichte in die Höhe heben wird.

Wenn man von dem spitzen Ende eines Eies ein kleines Stück von der Schaale bricht, und es dann unter den Recipienten legt, und diesen auspumpt, so dehnt sich die Luftblase, die immer im dickern Ende des Eies enthalten ist, auf gleiche Weise aus, und drängt dabei alles, was im Ei enthalten ist, heraus. Ein welker Apfel, wenn er auf dieselbe Art behandelt wird, dehnt sich aus, und erscheint frisch, vorausgesetzt, daß seine Schaale ganz ist; und man kann einen kleinen Springbrunnen dadurch hervorbringen, daß man eine kleine Glaskugel halb voll Wasser füllt, und eine Röhre in ihren Hals schraubt, so daß ihr unterstes Ende beträchtlich unter die Oberfläche des Wassers taucht; die Luft über dem Wasser wird auf diese Weise eingeschlossen, und dehnt sich, wenn der Apparat unter einen hohen Recipienten gebracht, und dieser ausgepumpt wird, aus, so daß sie durch den Druck auf die Oberfläche des Wassers dieses in der Röhre hinauftreibt (die sich in eine kleine Mündung endigt), und einen Wasserstrahl herausschießen macht.

Da es also bewiesen ist, daß die Luft eine elastische Beschaffenheit hat, und fähig ist, sich auszudehnen, sobald der hemmende Druck entfernt ist, so wird es leicht seyn,

die Beschaffenheit und Wirkung der Luftpumpe zu begreifen, die aus einer vollkommen ebenen Messingplatte besteht, auf welche die Recipienten zum Auspumpen gesetzt werden. Im Mittelpunkt dieser Pumpenscheibe ist ein Loch mit einer Schraubenmutter, um den oder jenen Apparat an die Platte zu befestigen, und dieses Loch communicirt mittelst einer luftdichten Röhre mit den Cylindern, vermittelst deren das vacuum hergestellt wird. Die Einrichtung dieser Pumpe ist der einer gewöhnlichen Hauspumpe ganz ähnlich, nur muß die Arbeit natürlicherweise besser seyn. Sie besteht aus einem hohlen Cylinder von Metall, der sehr genau gebohrt ist, worin ein metallener Kolben, der mit Leder überzogen ist, luftdicht auf und nieder bewegt werden kann, entweder mit der Hand, oder mittelst eines Zugs nebst Getriebe, was mit einer Winde wirkt. Dieser bewegliche Kolben ist mit einem kleinen Loche durchbohrt, das mittelst einer Klappe oder eines Ventils bedeckt ist, das sich nach oben öffnet, und also die Luft in dieser Richtung durchgehen, aber nicht wieder zurück läßt. Der Boden des Cylinders, der ganz dicht ist, ist mit einer ähnlichen Klappe versehen, die sich aufwärts in den Cylinder über einer Oeffnung öffnet, die mittelst einer Röhre mit dem Loche in der Pumpenscheibe communicirt. Es erhellet also, daß, da der ganze Apparat luftdicht ist, wenn der Kolben aufwärts bewegt wird, ein Theil der Luft aus dem Recipienten durch das Loch in der Pumpenplatte gezogen werden wird, und wenn er wieder nieder bewegt wird, diese Luft, da sie durch die Klappe nicht wieder durch den Boden des Cylinders zurückgehen kann, durch die Klappe in dem Kolben entweichen und in den obern Theil des Cylinders ausströmen wird. Und so wird durch das wechselnde Auf- und Niedergehen des Kolbens beinahe die sämmtliche in einem Recipienten enthaltene Luft ausgeleert

oder weggenommen. Man läßt die Luft, wenn das Experiment vorbei ist, mittelst einer Schraube oder eines Schließhahns, der eine Communication mit der äußern Luft eröffnet, wieder in den Recipienten zurück.

Alle Gläser oder Recipienten zum Behuf von Versuchen mit der Luftpumpe müssen nicht nur unten abgeschliffen seyn, damit sie dicht auf den Pumpenteller passen, sondern es muß noch geöltes oder nasses Leder zwischen sie und die Platte gelegt werden, um die Zusammenfügung luftdicht zu machen; und dieselbe Vorsicht muß auch gebraucht werden, wo irgend Zusammenfügungen in dem Apparat sind. Zu genauen Versuchen kann man etwas weiche Pomade zwischen den mattgeschliffenen Rand des Recipienten und der Pumpenplatte anwenden.

Um das Auspumpen zu beschleunigen, sind die meisten Luftpumpen mit zwei Cylindern versehen, und dann nennt man die Maschine eine Doppelcylinder-Luftpumpe. Diese hat viele Vorzüge vor der einfachen. Man hat viele Verbesserungen an diesen Maschinen gemacht, deren Beschreibung außer den Gränzen dieses Buches liegt. Allein die Einrichtung derselben von Cuthbertson ist unstreitig die vollkommenste, da bei dieser die Klappen durch die Thätigkeit der Maschine geöffnet werden, und folglich ein vollkommeneres vacuum hervorgebracht wird, als auf andere Weise erlangt werden kann. Das Luftpumpenvisir, wodurch der Grad der Verdünnung gezeigt wird, ist weiter unten beschrieben.

Nur durch Aufhebung des bestehenden Gleichgewichts der Natur ist man im Stande, mehrere ihrer Operationen zu beobachten. So würden wir das Gewicht und die Elasticität der Luft nicht bemerken, könnten wir nicht durch die Luftpumpe oder dergleichen Instrumente die natürliche

Balanz zerstören; und ist dieß geschehen, so findet man, daß Luft ein Bestandtheil fast aller Substanzen ausmacht; sie liegt in ihren Poren unbemerkbar, bis durch Verminderung des äußern Drucks ihre Elasticität Gelegenheit erhält zu wirken, da sie denn schwillt und sichtbare Wirkungen hervorbringt. So findet man Luft im Wasser und allen Flüssigkeiten, sowie in den meisten festen Substanzen.

Wenn ein Glas reines Wasser, worin nicht ein einziges Luftbläschen sichtbar ist, unter einen Recipienten gebracht, und dieser ausgepumpt wird, so werden sich sogleich Blasen zeigen, welche groß werden und in die Höhe steigen; aber sobald die Luft in den Recipienten zurückgelassen wird, werden sie sämmtlich sogleich zusammengedrückt und verschwinden. Das Gewicht der Luft ist in so fern bloß durch ihre Wirkungen ausgemittelt, man kann es aber gleichfalls auf folgende Weise zeigen. Man nehme eine Glasflasche oder Bouteille, die genau ein Maaß faßt, und kitte einen messingenen Deckel, der eine Klappe hat, die sich nach außen öffnet, nebst einer Schraube, wodurch die Flasche an der Luftpumpe befestigt werden kann. Diese Flasche setze man so eingerichtet in eine Schaale einer empfindlichen Waage, und mache den Balken durch Gewichte in der andern Schaale waagerecht; ist dieß geschehen, so nehme man sie aus der Schaale, schraube sie auf die Pumpenplatte, und pumpe sie so vollkommen, wie möglich, aus, und bringt man sie nun wieder in die Schaale, so sieht man, daß die Luftentziehung sie leichter macht, in so fern es nöthig wird, $15\frac{1}{2}$ Gran in die Schaale mit der Flasche zu legen, um die vorige Balanz wieder herauszubringen, so daß also ein Quart (Weinmaß) Luft $15\frac{1}{2}$ Gran Gewicht gleichkömmt. Dieser Versuch ward zuerst 1664 von Hooke gemacht, kann aber nicht als sehr genau angesehen werden, weil das vacuum, welches die Luftpumpe macht, unvoll-

kommen ist, und die hebende Kraft der äußeren Luft das anscheinende Gewicht der Flasche um etwas vermindert. Die Luft ist also wirklich schwerer, als aus diesem Versuche erhellet; und die sehr genauen Untersuchungen von Sir George Schuckburgh (Philosophical Transactions Vol. LXVII. p. 560) zeigen, daß sie 836 Mal leichter sey, als reines Wasser, wenn der Barometer 29¼ Z. und Fahrenh. Thermometer 53° zeigt.

Da die Luft wirkliche Schwere besitzt, so ist es kein Wunder, daß sie Druck hervorbringen, und einen Recipienten auf der Pumpenscheibe festhalten kann, wenn die Luft inwendig aus ihm heraus ist, die sonst diesem Drucke durch ihre Federkraft das Gleichgewicht halten würde; und da der Druck von Flüssigkeiten nach allen Seiten wirkt, so ist es natürlich nicht erforderlich, daß die Kraft in senkrechter Richtung angewandt werde. Wenn daher ein Recipient auf eine kleine Messingscheibe mit einem Schließhahn darunter, die ein abgesonderter Teller ist, gesetzt wird, so kann dieser in die Pumpenplatte geschroben, ausgepumpt, und sodann der Schließhahn zugemacht werden, da man denn den Recipienten von der Luftpumpe nehmen kann, und er noch immer mit der Platte in allen Lagen fest verbunden bleibt, denn die Platte wird so stark gegen den Recipienten gedrückt, wie der Recipient gegen sie, in was für eine Lage man sie auch bringt, und sie können ohne Gewalt nicht von einander getrennt werden, bis die Luft durch das Oeffnen des Hahnes wieder hineingelassen ist.

Diese Wirkung wird trefflich erläutert durch die Magdeburger Halbkugeln, die so heißen, weil an diesem Orte vom Bürgermeister Otto v. Guericke der Versuch zuerst gemacht wurde. Sie bestehen aus zwei gewölbten oder hohlen Halbkugeln von Messing, deren jede auswendig einen Ring hat, der groß genug ist, daß man die Kraft der Hände

anbringen kann, um sie auseinanderzuziehen. Die Hemisphären passen mittelst eines geschliffenen Schlusses auf einander, der durch etwas Fett luftdicht gemacht wird, und der eine Griff wird entfernt, um die Kugel, die jene durch ihre Zusammensetzung bilden, zum Auspumpen auf die Luftpumpe zu schrauben. Die untere Halbkugel enthält ferner eine Klappe oder einen Schlußhahn, wodurch der Zurücktritt der Luft in die Kugel verhindert wird, nachdem sie ausgepumpt ist. Ist auf diese Weise ein ziemlich luftleerer Raum in den Halbkugeln hergestellt und der Griff aufgeschraubt, so wird, wenn sie eine Kugel von 5 oder 6 Zoll im Durchmesser bilden, ein sehr starker Mann dazu erforderlich seyn, um sie auseinanderzuziehen, weil der Druck der Atmosphäre etwa 14 Pfund auf jeden Quadratzoll der Kugelfläche beträgt. Wenn eine solche Kugel daher nur 10 Quadratzoll Fläche darbietet, so fordert sie zu ihrer Trennung eine Kraft, die 140 Pf. entspricht. Die Kraft, womit diese Halbkugeln zusammengehalten werden, kann man leicht untersuchen, wenn man den untern Griff an den Fußboden oder einen Tisch befestigt, und den Haken einer Schnellwaage in den obern Griff einhängt; und daß sie durch keine andere Kraft als den atmosphärischen Druck zusammengehalten werden, kann man damit beweisen, daß man sie, wenn sie ausgepumpt sind, innerhalb eines Recipienten hängt, und diesen dann auspumpt, da dann die untere Halbkugel durch ihre eigene Schwere abfällt, ohne daß irgend eine andere Kraft angebracht wird, weil die, die sie an der obern festhielt, nämlich der Druck der äußern Luft, durch Auspumpen des Recipienten entfernt ist. Die Magdeburger Halbkugeln wurden von Otto von Guericke erfunden, der 1654 bei Gelegenheit des Reichstags zu Regensburg vor Friedrich III. Versuche im Großen anstellte. Hier wa-

ren die Kugeln so groß, daß ein Zug von 20 Pferden erforderlich war, sie auseinanderzuziehen.

Um zu zeigen, daß viele Wirkungen, die im gemeinen Leben auf das Saugen geschrieben werden, vom Gewicht und Drucke der Atmosphäre abhängen, und daß der Begriff des Saugens durchaus nicht positiv ist, bedecke man die Pumpenscheibe mit einem Stück nassen Waschleder, und setze einen kleinen Recipienten mit einem geschliffenen Boden darauf, aber nicht über das Loch in der Pumpenscheibe, stülpe über diesen wieder einen größern Recipienten, der das Loch in sich begreift, und sobald man anfängt zu pumpen, wird der letzte sogleich fest oder durch den Druck niedergehalten, indeß der innere kleinere frei bleibt, und sich sogar in die Höhe hebt, und leicht bewegt, indem während der große Recipient ausgepumpt wird, die Federkraft der Luft im kleinern Recipienten sie zur Ausdehnung bringt; und sie kann sich nicht anders ausdehnen und entweichen, als indem sie ihr Behältniß in die Höhe hebt. Die kleine Glocke bleibt frei, weil die Luft in und außer ihr von gleicher Dichtigkeit ist, und die äußere Luft, die sie sonst niederhalten würde, durch das Auspumpen entfernt ist; aber sobald wieder Luft unter die große Glocke gelassen ist, wird sie sogleich in Freiheit gesetzt, und die kleinere wird fest, ob sie gleich nie über dem Loche in der Pumpenscheibe gestanden hat. Diese Veränderung kann also von keinem Saugen, was die Pumpe macht, herkommen, sondern wird allein durch den Druck der zugelassenen Luft bewerkstelligt; denn durch das Drücken auf die kleine Glasglocke kann sie nicht auf dieselbe Weise in das Innere derselben kommen, als sie durch die Ausdehnung herauskommen konnte, und folglich wird die kleine Glocke auf die Pumpenscheibe festgedrückt und kann nicht losgemacht werden, als dadurch, daß man sie allmälig fort-

gleiten läßt bis über das Loch, wo dann die Luft wieder hineintritt. Eine fast ähnliche Wirkung, nur in anderer Gestalt, läßt sich mittelst eines Instruments hervorbringen, welches der Doppelteller heißt, und dessen Form in Fig. 57, Taf. VI angegeben ist. Es besteht aus zwei kleinen Messingscheiben, die auf ihrer obern Fläche eben geschliffen sind, wovon jede unterhalb in h und i einen Schließhahn hat, welcher in die Röhre kk geschraubt wird; diese Röhre ist an beiden Enden luftdicht geschlossen, und hat wieder einen Schließhahn l in ihrem Mittelstück, welches zum Anschrauben in die Hauptpumpenscheibe eingerichtet ist. Wenn alle drei Hähne offen sind, so ist es klar, doß, wenn l an der Scheibe befestigt ist, beide gleichgroße Recipienten f und g zugleich ausgepumpt werden können, aber wenn angenommen wird, daß h verschlossen ist, so wird der Recipient g allein seine Luft verlieren, und fest werden, und in diesem Zustande, wenn l verschlossen ist, kann man das ganze Instrument losschrauben und von der Pumpe nehmen, ohne daß eine Veränderung in dem Zustande der Recipienten stattfindet; allein sobald jetzt der Hahn h geöffnet wird, so wird die Glocke f so fest auf ihre Platte zu sitzen kommen, als die in g, weil g luftleer und f voll Luft ist, und sobald eine Communication zwischen beiden durch die Röhre und die Röhre h k k i geöffnet ist, die halbe Luft, die in f war, in g einströmt, und sich in's Gleichgewicht setzt, und folglich werden beide Glocken zur Hälfte entleert, und wenn sie einerlei Durchmesser haben, mit einerlei Kraft oder Druck, der auf beide einwirkt, an ihren respectiven Platten festgehalten.

Die gewöhnliche Hauspumpe, oder die gemeinhin und unpaßlich die Saugepumpe genannt wird, giebt einen andern Beleg für den beständigen Luftdruck; denn das

Wasser steigt in dieser Maschine durch keine andere Ursache, als den Druck der Atmosphäre. Fig. 58 ist ein Theil von dieser Art Pumpe, deren sehr detaillirte Beschreibung unnöthig ist, weil, was bereits oben über die Einrichtung der Luftpumpe gesagt ist, auf sie anwendbar ist, und sie erklärt: m m ist der Cylinder oder der Stiefel, n der luftdichte Kolben (Sauger), der sich darin bewegt oder wirkt, vermittelst der Kolbenstange o, die durch den Hebel p p oder irgend eine andere Vorrichtung bewegt wird; q ist die Zug- oder Saugeröhre, die in den Wasserbehälter r r hinabgeht, der bei einer wirklichen Pumpe ein Brunnen oder eine Cisterne seyn würde, s die Klappe unten im Stiefel, die das obere Ende der Zugröhre bedeckt, und t die Klappe im Kolben, welche beide Klappen sich aufwärts öffnen; u u ist ein oben offener Recipient, durch den die Pumpe über dem Wasserkruge r r gehalten wird *). Das Aufheben des Stempels n vom Unter- bis zum Oberende des Cylinders macht einen leeren Raum im Cylinder zwischen n und s, und der Druck der Luft auf die Oberfläche des Wassers in r r treibt eine Quantität dieses Wassers in q hinauf, durch die Klappe s in das Innere des Cylinders, wo es zurückgehalten wird, weil es nicht wieder durch s zurückkann; wenn der Stempel n hinuntergeht, so geht er durch das bereits mittelst der Klappe t gehobene Wasser, und gelangt so zum Boden des Cylinders. Bei'm zweiten Aufheben des Stempels wird das Wasser, was bereits durch ihn gegangen ist, von ihm hinauf in den Wasserfang o gebracht, aus dem es durch die Laufröhre v ausgeleert

*) Man hielt es für unnöthig, eine besondere Abbildung von der Luftpumpe zu geben, weil ihre äußere Gestalt sehr bekannt ist, und ihre innere Einrichtung so nahe mit dieser Figur übereinkömmt. Die Saugröhre s q würde mit dem Loche in der Pumpenscheibe communiciren, wenn dieß eine Luftpumpe statt einer Wasserpumpe wäre.

wird, während sich zwischen n und s ein neuer leerer Raum bildet, der natürlicherweise, wie vorhin, mit Wasser gefüllt wird; und so erhellet, daß die gemeine Wasserpumpe eher eine pneumatische, als eine hydraulische Maschine ist.

Um aber zu beweisen, daß die Thätigkeit dieser Pumpe auf der Bildung eines leeren Raums und dem Luftdrucke beruhe, nehme man den ganzen oben beschriebenen Apparat, und setze ihn auf die Scheibe der Luftpumpe, so daß der große stützende Recipient u u ausgepumpt werden kann, und dann wird man finden, daß die Bewegung des Hebels p p kein Wasser hinaufhebt, denn da jetzt die Luft, die sonst auf das Wasser in r r drücken und es die Röhre q hinauftreiben würde, entfernt ist, so wird das Wasser überhaupt gar nicht steigen. Eine Pumpe dieser Art giebt also nicht nur einen Beweis von der Existenz des atmosphärischen Drucks, sondern zeigt auch den Betrag desselben; denn wenn die Röhre q auf etwa 40 Fuß senkrecht von dem Boden der Pumpe verlängert wird, ehe sie das Wasser berührt, so wird die Bewegung der Pumpe das Wasser in der Röhre nie höher als auf 32 bis 33 Fuß heben, so daß es nicht bis in den Cylinder der Pumpe hinaufgebracht werden kann, und folglich nicht aus der Laufröhre v ausfließt. So ist ausgemittelt, daß eine Wassersäule von 33 Fuß Höhe dem äußersten Luftdruck das Gleichgewicht hält, und da dieser, wie bald gezeigt werden soll, einer Verminderung unterworfen ist, so wird zu Zeiten der Luftdruck nicht 28 Fuß Wasser heben, und folglich muß eine Pumpe von dieser Einrichtung nie in eine größere Höhe von dem Wasser gesetzt werden, was sie heben soll, als etwa 25 Fuß, weil sie sonst nicht mit Gewißheit wirkt. Der Durchmesser der Wassersäule ist in diesem Falle von keinem Belang, weil, wie groß er auch sey, immer eine gleichgroße Luftsäule dagegen wirkt (vergl.

Hydrostatisches Paradoxon in der Hydrostatik). Aber angenommen, die Wassersäule halte im Durchschnitt einen Quadratzoll, dann wird sie bei einer Höhe von 33 Fuß, 396 Kubikzoll halten, welche 14 Pfund und etwa $\frac{1}{3}$ wiegen, und folglich wird sie über die Wirkung des atmosphärischen Drucks hinausgehen, wie oben bei Gelegenheit der Magdeburger Halbkugeln angegeben ist.

Dieß Gleichgewicht der Kraft zwischen einer perpendikulären Wassersäule und dem atmosphärischen Druck ward zuerst von Gallilei bei'm Bau einer Pumpe für den Großherzog von Toscana beobachtet, aber die Ursache scheint er nicht bemerkt zu haben. Diese ward zuerst von Torricelli erforscht, der Queckſilber, eine Flüſſigkeit, die beinahe 14 Mal so schwer ist, als Wasser, bei seinen Versuchen gebrauchte, wodurch er in den Stand gesetzt wurde, einen Druck, der bei einem Vierzehntel der Höhe dem des Wassers gleichkam, hervorzubringen, und sonach waren seine Versuche sehr genau beweisend. Er füllte Glasröhren von verschiedener Größe, und die an einem Ende verschlossen waren, mit Queckſilber, und dann hielt er die offenen Enden zu, und stürzte sie um in Becken, die mit demselben Metall gefüllt waren. So fand er nun, daß die Durchmesser der Röhren keine Wirkung auf die Versuche hatten, sondern daß alle die, die weniger als 28 Z. Länge oder Höhe hatten, bei'm Umstürzen voll Queckſilber blieben, und daß in allen längern ohne Unterschied das Queckſilber hinuntersank, bis es zwischen 28 und 31 Zoll von der Oberfläche des Queckſilbers im Becken stillstand, und so einen leeren Raum im Oberende der Röhre zurückließ, der nachher als das vollkommenste vacuum befunden ist, das die Kunst hervorbringen kann, und welches zu Ehren des Erfinders vacuum Torricellianum genannt wird.

Eine Röhre, mit Queckſilber gefüllt, und ſo aufgeſtellt, heißt ein Barometer, weil die Queckſilberſäule durch den Druck der Luft erhalten wird, und folglich mit dieſem Drucke im Gleichgewicht ſtehen muß, und wenn der Betrag des Drucks ſich, wie er es thut, ändert, ſo ändert ſich die Höhe der Queckſilberſäule gleichfalls. Daher kömmt es, daß das Queckſilber im Barometer zwiſchen drei Zollen auf und nieder ſchwankt, weil die Dichtigkeit der Luft nie ſo groß iſt, daß ſie das Queckſilber höher als 31 Zoll über der Fläche des Queckſilbers unten im Becken halten kann, auch ſich niemals ſo ſehr vermindert, daß die Säule tiefer als auf 28 Zoll fällt. Die Zahlen 28, 29, 30 und 31, die auf die Scale jedes Barometers geſetzt ſind, ſollen alſo die Höhe der Queckſilberſäule anzeigen, und zwar von der Oberfläche des Queckſilbers in dem unten befindlichen Becken oder der Kugel der Röhre an gerechnet; und auf ſie muß eher geachtet werden, als auf die Wörter Sturm, Regen, Veränderlich, Schön, Beſtändig ꝛc. ꝛc., die in der That gar wenig bedeuten; denn es iſt das Steigen und Fallen des Queckſilbers, wodurch Witterungsveränderungen im Voraus angezeigt werden, und nicht irgend ein Stand oder eine Höhe deſſelben zu einer gewiſſen Zeit. Um ein Barometer mit Nutzen zu brauchen, muß ſeine Scala nicht höher gebracht werden, als das Auge des Beobachters; allein er ſollte eher etwas von oben herab auf das Queckſilber ſehen, als ſonſt in einer Richtung. Hat man den Stand deſſelben, ſobald man an das Barometer kömmt, beobachtet, ſo ſollte man durch leiſes Anſchlagen mit dem Rücken des Fingers die Röhre ſchütteln, da denn das Queckſilber entweder ſteigt oder fällt, und alſo zeigt, wohin es ſich bewegt hätte, wenn es ſich ganz frei hätte bewegen können; ſteigt es, ſo kann man gutes Wetter erwarten und das Gegentheil,

wenn es fällt, besonders wenn seine Bewegung langsam ist, und in derselben Richtung mehrere Tage fortgeht. Wenn sehr plötzlich starke Bewegungen stattfinden und das Queckſilber unstät ist, so kann man starken Wind erwarten. Die concave oder convexe Oberfläche des Queckſilbers zeigt auch an, ob es steigt oder fällt, indem die letzte bloß statt hat, sobald es im Steigen begriffen ist, und durch gehörige Aufmerksamkeit auf die Bewegungen des Queckſilbers wird sich das Barometer als ein höchst nützliches Instrument bewähren, um die sämmtlichen Witterungsveränderungen mit einiger Wahrscheinlichkeit vorher zu sagen.

Dergleichen Beobachtungen hatte Torricelli gemacht, aber es blieb dem großen Genie von Blaize Pascal vorbehalten, ihre Ursache zu erklären, so wie auch einen andern äußerst wichtigen Nutzen des Barometers anzugeben, nämlich seine Anwendung, um beträchtliche Höhen zu messen, in welcher Absicht es jetzt mit großem Erfolg sehr allgemein angewandt wird.

Pascal vermuthete, gleich Torricelli, daß das Queckſilber durch den Druck der Luft in der Röhre gehalten würde; allein er nahm Anstand, diese Meinung ihrer Neuheit wegen, und wegen der Streitigkeiten, in die er, wie er wohl wußte, verwickelt werden würde, zu verlautbaren; er entschloß sich also, die Sache auf den Prüfstein des Experiments zu bringen, und zwar auf eine Weise, die ihrer Neuheit und Scharfsinnigkeit wegen ihm immer zum Ruhme gereichen wird. Er schloß so — wenn das Queckſilber durch den Druck der Luft in der Barometerröhre gehalten wird, so muß dieser Druck auf der Oberfläche der Erde größer seyn, als in einer beträchtlichen Höhe darüber, und sonach glaubte er, daß, wenn zwei Barometer in der Höhe ihres Queckſilbers übereinkämen,

wenn sie dicht am Boden zusammenständen, und eines davon zu einer bedeutenden Höhe in die Luft gehoben würde, auf dessen Queckſilber eine kürzere Luftſäule drücken, und dasſelbe mithin fallen würde. Dieß wichtige Experiment wurde 1648 auf dem Puy de Dome, einem Berge von 3,565 Engl. Fuß Höhe, bei Clermont in Frankreich, mit dem vollkommenſten Erfolg gemacht; denn als die beiden Barometer zuſammen waren, ſtanden ſie auf 28, indeß das auf den Berg genommene um $3\frac{1}{2}$ Zoll fiel, und zu 24. 7. ſtand. Bei'm Herabſteigen fand Pascal, daß die Queckſilberſäule verhältnißmäßig ſtieg, und, als er wieder unten anlangte, beide wieder übereinkamen.

Daß das Queckſilber bloß durch den atmoſphäriſchen Druck in der Barometerröhre gehalten werde, kann durch die Luftpumpe genügend bewieſen werden. Zu dem Ende nehme man eine Barometerröhre von 32 Zoll Länge, und fülle ſie, mittelſt eines kleinen Trichters, mit Queckſilber, ſtülpe ſie in ein kleines, mit demſelben Metall gefülltes Becken, und ſetze ſie auf eine Luftpumpenſcheibe, decke einen hohen, engen Recipienten darüber, und ſo wie das Auspumpen vor ſich geht, wird ſich das Queckſilber in der Röhre ſenken, anfangs mit großer Geſchwindigkeit, die aber abnimmt, ſo wie das vacuum vollkommner wird. Bei'm Wiedereinlaſſen der Luft wird das Queckſilber wieder ſteigen, bis es auf den Stand vor dem Auspumpen zurückkömmt.

Dieß Inſtrument wird daher ein Maaßſtab für die Luftpumpe, um den Grad der Verdünnung oder der Vollkommenheit des vacuum, das ſie macht, auszumitteln, und ſonach wird das Barometer immer zu dieſem Behufe angewandt. Bei ſolchen Pumpen, die am Boden ſtehen, braucht man die Röhre in ihrer ganzen Länge; aber bei Tiſch-Luftpumpen nimmt man nur ſehr kurze Barometer, weil die Beurtheilung der Leere im Anfange des Auspumpens keinen Nutzen

hat, und erst dann wichtig wird, wenn es beinahe beendet ist, oder wenn das Queckſilber nur noch innerhalb 1 oder 2 Zoll vom untern Ende ſteht; ein Viſirbarometer von 4 Zoll Höhe reicht alſo völlig zu, und dieſe macht man allgemein in Form eines umgekehrten Saughebers, wie in Fig. 59. gezeigt iſt. Hier iſt kein Becken, ſondern der Schenkel a iſt ganz mit Queckſilber gefüllt, und es geht etwas in b hinauf, was eine unmittelbare Verbindung mit dem auszupumpenden Recipienten hat: ſo wie das Queckſilber in a fällt, ſteigt das in b, und da man die Höhe der Säule von der Oberfläche der in b aus berechnen muß, ſo muß natürlicherweiſe, wenn das Queckſilber in beiden Schenkeln balancirt, oder dieſelbe Höhe hat, es als ganz niedergefallen betrachtet werden, und vermöge der Einrichtung des Heberbarometers, wie dieß Inſtrument heißt, beträgt jeder halbe Zoll Bewegung im Queckſilber eben ſo viel, als ein ganzer Zoll in einem geraden Barometer, weil die eine Portion Queckſilber genau eben ſo viel ſteigt, als die andere fällt. Bei der Wahl eines Barometers iſt das das beſte, das die weiteſte Röhre und die geräumigſte Schaale für das Queckſilber hat, weil eine ſtarke Röhre die Haarröhrenanziehung verhütet, und durch eine große Schaale die geringe Quantität Queckſilber, die aus der Röhre geleert wird, den Punkt nicht weſentlich ändert, von dem die Scala angeht, und das Barometer daher empfindlicher ſeyn wird. Da das Steigen und Fallen des Queckſilbers auf 3 Zoll beſchränkt iſt, ſo hat man Einrichtungen getroffen, dieſe Diſtanz zu einer größern Scala zu erweitern. Die hauptſächlichſten hiervon ſind das Diagonal-Barometer, welches von Morland und Ramazzini erfunden wurde, aber eben nicht im Gebrauch iſt, und das Radbarometer des Dr. Hooke.

Zu Barometern muß das Queckſilber ſehr rein, oder frei von Amalgamation mit andern Metallen, und von Sauerſtoff oder Schlacke, ſo wie von Luft gereinigt ſeyn, weil es ſich ſonſt an's Glas hängt. Man kann es von Schlacke und Schmutz ſehr gut reinigen, wenn man es durch die Poren von dichtem Holz ſeihet, und dieß giebt zu gleicher Zeit ein ſchönes Experiment. Zu dem Ende nehme man einen Becher, in deſſen Untertheil ein Zapfen von Haſel- oder anderem harten Holze in der Richtung ſeiner Faſern eingefügt iſt, ſetze ihn auf einen oben offenen Recipienten auf die Scheibe einer Luftpumpe, und zum Auffangen des Queckſilbers eine Schaale darunter. Sobald die Pumpe geht, treibt der Druck der äußern Luft das Queckſilber in Geſtalt eines ſehr feinen Queckſilberregens durch die Poren des Holzes, und es wird vollkommen gereinigt. Man muß ſich jedoch in Acht nehmen, daß kein Queckſilber in die Luftpumpe kömmt, weil es ſonſt ſich mit dem Loth der Fügungen verbinden und ſie zerſtören würde. Um das Queckſilber luftfrei zu machen, muß es einer ſtarken Hitze ausgeſetzt werden, was man Kochen nennt, und dieß ſollte in der Röhre jedes gut verfertigten Barometers geſchehen.

Wenn das Barometer gebraucht wird, um die Höhen der Berge und anderer hohen Punkte zu meſſen, muß die Temperatur des Queckſilbers ſo gut, wie ſein Höheſtand in Betracht gezogen werden, weil es ſich in der Wärme ausdehnt, und in der Kälte zuſammenzieht, und die obern Regionen der Atmoſphäre viel kälter ſind, als die untern. Die allgemeinen Grundſätze dieſer Meſſungsarten wird man hoffentlich aus nachfolgender Erklärung erſehen. Wenn das Barometer auf der Oberfläche der Erde zu 30 Zoll ſteht, und die Temperatur 32 Fahrenheit iſt, ſo hat man ausgemittelt, daß ein ſolches Barometer,

zu der Perpendicularhöhe von 87 Fuß genommen, das Queckſilber genau $\frac{1}{10}$ Zoll ſinken läßt, ſo daß es auf 29,9 zu ſtehen kömmt; aber angenommen, daß das Inſtrument noch höher in die Luft gehoben würde, oder ſo lange, bis das Queckſilber noch ein Zehntelzoll fällt, oder auf 29,8 ſteht, ſo fragt es ſich, wie hoch es hinaufgebracht iſt? Die zweite Luftſchicht iſt offenbar der erſten an Gewicht gleich, weil beide das Queckſilber um $\frac{1}{10}$ Zoll niedergedrückt haben, aber da nach der oben (S. 107) erklärten Natur der Atmoſphäre jede nachfolgende Schicht leichter oder weniger dicht iſt, ſo wie wir in die Höhe ſteigen, ſo muß die zweite Schicht, um ein gleiches Gewicht zu haben, eine größere Höhe haben als die erſte, und folglich muß das ganze Aufſteigen mehr als zweimal 87 Fuß betragen. Um dieſen Unterſchied zu unterſuchen, kann die Dichtigkeit der erſten Luftſchicht durch die Zahl von Zehnteln eines Zolles Queckſilber dargeſtellt werden, die es zu tragen vermag, und da die Säule als 30 Zoll hoch angenommen war, ſo erhielten wir die Zahl 300; aus demſelben Grunde wird die Dichtigkeit der zweiten Schicht durch 299 dargeſtellt, allein das Gewicht beider Schichten iſt gleich, es muß ſich alſo ihr Volum umgekehrt wie ihre Dichtigkeit verhalten, und da die Baſis der beiden Schichten gleich iſt, ſo kann ein Unterſchied des Volums bloß aus dem Unterſchied der Höhe entſpringen, und folglich um die Dicke der zweiten Luftſchicht oder ihre Höhe über der erſten Schicht zu erhalten, ſo iſt es bloß nöthig, zu ſagen: 299 verhält ſich zu 300, wie 87 Fuß, die Höhe der erſten Schicht, zu 87,29 Fuß, der Höhe der zweiten Schicht, ſo daß im obigen Falle die ganze Diſtanz des Aufſteigens 174,29 Fuß beträgt. In gleicher Weiſe, wenn das Barometer in die Höhe gebracht wird, bis das Queckſilber auf 29,8 fällt, ſo iſt das Verhältniß 298:

300::87 Fuß: 87,584, oder er ist zu der Höhe von 261 $\frac{7}{8}$ Fuß hinaufgebracht.

Das Obige muß man als kein genaues Verfahren ansehen, sondern es ist bloß aufgeführt, die Theorie des Verfahrens zu zeigen, und bei solchen Höhen, wo keine wesentliche Veränderung der Temperatur stattfindet, paßt es ziemlich genau. Die genauere Verfahrungsart ist verwickelter und fordert große Sorgfalt. Zur Höhenmessung hat man eigene Barometer, und zu diesem Behufe sind genaue Thermometer an denselben befestigt. Sie haben ihre demgemäß getheilte Scalen, und heißen Gebirgs-Barometer. Eins der besten Instrumente zu diesem Behufe ward von Sir H. Englefield erfunden, und eine sehr einfache und genaue Methode, sie anzuwenden, findet man in den Notes to Professor Leslie's Elements of Geometry, p. 492.

Durch Berechnungen, bestätiget durch das Barometer in verschiedenen Höhen, ist ausgemittelt, daß die Luft in 3 $\frac{1}{2}$ Engl. Meile von der Erde nur die Hälfte der Dichtigkeit hat, wie die auf ihrer Oberfläche, und daß sie die Hälfte der letzten Dichtigkeit etwa bei jeder nachfolgenden 3 $\frac{1}{2}$ Meile verliert. Wenn man also die Dichtigkeit der Luft auf der Erdoberfläche gleich 7 annimmt, so wird sie in der Höhe von 3 $\frac{1}{2}$ Meile zwei Mal so dünn seyn, in der Höhe von 7 Meilen 4 Mal so dünn, bei 21 Meilen 64 Mal dünner, und 4,096 Mal bei 42 Meilen. Nach demselben Maaß wird sie 49 Meilen hoch, 16,384 Mal dünner seyn, und da dieß die Verdünnung weit übertrifft, die durch die beste Luftpumpe hervorgebracht werden kann, so nimmt man im Allgemeinen an, daß die merkliche Atmosphäre der Erde sich auf eine Entfernung von etwa 45 Meilen (nicht volle 10 Deutsche Meilen) von ihrer Oberfläche erstrecke.

Die Veränderungen, die in der Atmosphäre stattfinden, und die der Barometer anzeigt, scheinen hauptsächlich von drei Ursachen abzuhängen, nämlich 1. von der Anziehung, die zwischen der Luft und gewissen Flüssigkeiten existirt, wodurch eine Wechselmischung oder Einverleibung stattfindet, wie bei'm Verdunsten; 2. von einer Veränderung der Temperatur, wodurch die Dichtigkeit der Luft afficirt wird, und 3. von der Bewegung, die durch verschiedene Ursachen hervorgebracht wird, wodurch gleichfalls ihre Dichtigkeit und ihre übrigen Eigenschaften verändert werden.

Im Anfange des gegenwärtigen Abschnitts ist bereits erwähnt, daß die Atmosphäre nicht bloß aus gemeiner Luft besteht; sie enthält auch die verschiedenen Dämpfe, Gasarten und Ausdünstungen, die beständig in sie einströmen. So wird ein nasses Tuch, der Luft ausgesetzt, bald trocken, und das Wasser verdunstet nach und nach, oder mit andern Worten, es wird von der Luft absorbirt und aufgenommen, die mit ihm in Berührung ist, und das Wasser vermischt sich mit dieser Luft, und wird von ihr schwebend oder aufgelöst gehalten. Versuche haben bewiesen, daß ein Kubikfuß Luft im Stande ist, 12 Gran Wasser auf diese Weise zu halten, folglich muß die Atmosphäre zu jeder Zeit mehr oder weniger mit Wasserdünsten angefüllt seyn, und Dr. Halley berechnete, daß 5,280 Millionen Tonnen Wasser von der Oberfläche des Mittelländischen Meers an einem einzigen Sommertage verdünsteten. Dr. Thompson sagt, daß 94,450 Kubikmeilen (circa 1,000 Deutsche Kub. Meilen) Wasser jährlich durch die Atmosphäre circuliren. Sobald indeß die Dichtigkeit der Luft vermindert ist, oder die Wassertheilchen durch Kälte in eine engere Verbindung oder andere Ursachen gebracht sind, so fließen sie zusammen, und fallen wieder in Gestalt einer tropfbaren Flüssigkeit nieder.

Daß jederzeit Wasser in der Luft enthalten ist, ergiebt sich aus der Dunstwolke, die wir immer niederfallen sehen, sobald ein sehr sauberer Recipient auf der Luftpumpe ausgepumpt wird, und was nichts anders, als ein Regenschauer im Kleinen ist. Das Beschlagen der Mauern und Fenster vor nasser Witterung kömmt aus derselben Ursache; denn dann ist die Luft mit Wasser überladen, und fängt an, einen Theil davon zurückzugeben. Die Gegenwart des Wassers in der Atmosphäre wird durch Instrumente entdeckt, welche Hygrometer heißen, und zum Behuf der Messung der Feuchtigkeit der Luft bestimmt sind. Sie sind verschieden gestaltet, und aus mehrerlei Stoffen gemacht, aber es ist schlimm, daß die meisten mit der Zeit ihre Wirksamkeit verlieren. Eins der einfachsten dieser Instrumente kann man von bedeutender Länge aus gut gezwirntem Flachsgarn machen, welches man von der Decke eines Zimmers, etwa 4 Zoll von der Wand ab, aufhängt, und durch eine Bleikugel straff zieht, worüber ein Zirkel von Pappe angebracht ist, der am Rande Abtheilungen hat, nebst einem festen Punkt an der Wand, um die Bewegungen zu beobachten: — bei feuchtem Wetter dreht sich die Schnur dichter, und demgemäß den Zirkel herum; bei trockener Witterung dreht sie sich auf. — Das bekannte Spielwerk, das sogenannte Wetterhaus, ist nach diesem Grundsatze gemacht, indem durch das Zusammen- und Auseinanderdrehen einer Darmsaite das Weib bei gutem, und der Mann bei schlechtem Wetter herauskömmt. Das gewöhnlichste Hygrometer, das einer Taschenuhr einigermaaßen gleicht, und sehr häufig in ein und demselben Gehäuse mit einem Barometer befindlich ist, ist mittelst der Granne einer besondern Gattung wilden Hafers verfertigt, der ursprünglich aus Afrika kömmt, aber

überall in Deuſchland als Unkraut, und die die ſeltſame Eigenſchaft beſitzt, ſich bei trockenem Wetter zuſammenzurollen, und bei feuchtem ſich auseinanderzufalten. Ein Waagbalken mit einer Subſtanz, die gegen das Einſaugen von Feuchtigkeit empfindlich iſt, als einem Schwamm, Kork oder etwas Fließpapier, an einem Ende, und ein metallenes Gegengewicht am andern, bildet ein Hygrometer; da dieſe Subſtanzen Feuchtigkeit aus der Luft einſaugen, und wieder trocken werden, wodurch ſie abwechſelnd ſchwerer oder leichter werden, als das Gegengewicht. Auch macht man Hygrometer aus Fiſchbein und Elfenbein in der Queere durchſchnitten, aus Federſpulen u. ſ. w., aber einer der beſten wird aus einem langen Stück gelben Tannenholzes gemacht, was queer durch die Adern geſchnitten iſt, welches durch Ausdehnung und Zuſammenziehung einen Zeiger bewegt, wie in Fig. 60 gezeigt iſt, wo a b das Tannenſtück iſt, c d der Zeiger, e f die Papierſcala, worüber es ſich bewegt. Unglücklicherweiſe hat man noch kein Material gefunden, noch auch eine Scala verfertiget, die als feſter Maaßſtab angeſehen werden können, folglich mißt kein Hygrometer die Feuchtigkeit, die in einer gegebenen Luftmenge enthalten iſt; auch kann man die Scalen von zwei und zwei nicht übereinſtimmend machen; das Hygrometer muß alſo eher als Werkzeug des Vergnügens, als wie des Nutzens betrachtet werden. Das von Hrn. Daniel (Quarterly Journal of Science and the Arts, edited ad the Royal Institu tion, Vol. VIII. p. 298. Jan. 1820) kürzlich erfundene Inſtrument ſcheint das einzige zu ſeyn, welches ein haltbarer und nützlicher Hygrometer zu werden verſpricht, und ſollte es ſich in der Praxis ſo gut bewähren, wie es zu ſeyn ſcheint, ſo muß es als ein ſchätzbarer Beitrag zu den Werkzeugen zur Beobachtung der atmoſphäriſchen Phänomene betrachtet werden.

Die Luft verkörpert sich nicht nur mit dem Wasser, sondern mit einer großen Menge anderer flüchtigen Stoffe, wodurch viele von ihren Merkmalen sehr verändert werden: und da die Wärme zu diesen Verbindungen beiträgt, so verdunsten alle warme oder heiße Flüssigkeiten leichter, als kalte. Man tröpfle einige Tropfen Naphtha in ein großes Trinkglas, und decke es einige Minuten mit einer Platte zu, da dann die Naphtha in die Luft verdunstet, und diese so brennbar macht, daß sie bei Annäherung einer Kerze Feuer fängt. Man pumpe einen oben offenen Recipienten aus, der zuvor mit einer Messingplatte, die einen Schließhahn hat, und woran eine lange, krumme, kupferne Röhre sitzt, zugedeckt ist, und lasse die Luft durch diese Röhre wieder ein durch die Flamme einer Lampe, in welcher Terpentingeist ist. Der Recipient wird voll Rauch zu seyn scheinen, aber dieser Rauch hat so viel wesentliches Oel mit sich genommen, und dieß hat sich so innig mit der Luft verbunden, daß diese dadurch brennbar wird, und mit einer schönen Flamme brennt.

Ungeachtet der Anziehung, die solchergestalt zwischen der Luft und verschiedenen Flüssigkeiten zu bestehen scheint, so verhindert doch der Druck der Luft, daß sie in Dunst aufsteigen, oder bei geringer Zunahme der Temperatur verdunsten. So ist Naphtha die dünnste aller tropfbaren Flüssigkeiten, und wenn eine Schaale mit etwas davon unter die Glocke einer Luftpumpe gesetzt wird, so bringt eine sehr unbedeutende Bewegung der Pumpe sie zum Kochen. Wasser kocht in freier Luft erst bei + 212 Grad des Fahrenheitschen Thermometers, aber wenn der atmosphärische Druck entfernt ist, kocht es bei einer weit geringern Temperatur; und ein

Glas ſtarkes Ale (Bier), was nur unbedeutend erwärmt iſt, ſcheint unter einem ausgepumpten Recipienten zu kochen.

Dieſe Umſtände leiteten den Hrn. Wollaſton auf ein Mittel, Berge oder andere Höhen mittelſt des Thermometers und kochenden Waſſers zu meſſen, ſtatt den Barometer, wie oben gezeigt iſt, dazu zu gebrauchen. Denn wenn das Waſſer bei'm atmoſphäriſchen Druck auf der Oberfläche der Erde zum Kochen 212 Grad Fahrenheit Wärme erfordert, und es bei geringerer Hitze kocht, wenn dieſer Druck durch die Luftpumpe vermindert iſt, ſo wird bei'm Kochen des Waſſers in einer größeren Höhe in freier Luft dieſer Druck ſo wirkſam vermindert ſeyn, als wenn es unter einem einigermaßen ausgepumpten Recipienten ſteht, und ſonach iſt ausgemittelt, daß das Waſſer auf dem Gipfel des Mont Blanc bei 187 ſtatt 212 Graden kocht.

Die Feuchtigkeit, die in die Atmoſphäre aufgenommen iſt, nimmt, wenn ſie zu einer beträchtlichen Höhe gelangt, das Anſehen von Wolken an; denn dieſe ſind hauptſächlich Waſſerdünſte, die in der Luft ſchweben, welche einen hinlänglichen Grad von Dichtigkeit hat, ſie ſichtbar zu machen, aber nicht ſo dicht zuſammengedrängt iſt, um Waſſer hervorzubringen. Dieß haben diejenigen genugſam bewieſen, die bei'm Erſteigen hoher Berge, ſo wie auch bei'm Aufſteigen von Luftbällen durch Wolken gegangen ſind. Die Geſtalt und Beſchaffenheit der Wolke hängt weſentlich von der Stärke oder Heftigkeit des Windes, ſo wie auch von dem electriſchen Zuſtande der Atmoſphäre ab.

Sobald eine Veränderung in der Atmoſphäre ſtattfindet, die ihre Dichtigkeit vermindert, ſo iſt ſie weniger im Stande, das Queckſilber im Barometer zu tragen, was mithin niedergeht, und wenn ſie am wenigſten im

Stande ist, das Queckſilber zu tragen, ſo wird ſie auch am wenigſten im Stande ſeyn, Waſſerdünſte, Wolken und was ſonſt in ihr ſchwebt, zu halten: folglich ſinken ſie, und wenn die Wolken dicht genug zuſammengedrängt werden, um Tropfen zu bilden, ſo iſt Regen davon die Folge im Sommer, und Schnee im Winter. Dieß erklärt eine der Anwendungen des Barometers als meteorologiſches Inſtrument, und zeigt zugleich, warum ſchlechtes Wetter zu erwarten iſt, wenn das Queckſilber fällt, und gutes, wenn es ſteigt. Es ſcheint alſo, daß Regen nichts weiter iſt, als eine Rückkehr des Waſſers, welches vorhin verdunſtet iſt, und da die Berge die Wolken vermöge ihrer Anziehungskraft an ſich ziehen (S. 25), ſo fallen plötzliche Regenſchauer häufiger in Gebirgsgegenden, als in andern vor, und da die obern Regionen der Luft beſtändig ſo kalt ſind, daß ſie auf hohen Brrgen immerwährenden Schnee laſſen, ſo wird aus gleichem Grunde das Waſſer, wenn es hoch genug geſtiegen iſt, um zu gefrieren, als Hagel zur Erde zurückkommen, ſogar im Sommer; indeß der Schnee aus Waſſerbläschen zu beſtehen ſcheint, die in einer weit geringern Höhe gefroren ſind; denn wäre dieß nicht der Fall, ſo könnte er die regelmäßigen und zarten Cryſtallformen nicht behalten haben, die er im Durchſchnitt hat. Zwei der gewöhnlichſten Schneeflocken ſind in Fig. 61 abgebildet. Verſchiedene andere findet man in den Philosoph. Transact. No. 92, und man kann ſie ſehr wohl beobachten, wenn man Schnee auf einem Stück ſchwarzes Tuch oder einem Hute auffängt, und ihn ſogleich mit einem Vergrößerungsglaſe, was nicht eben ſtark zu ſeyn braucht, unterſucht.

Nebel ſind Wolken, die auf der Oberfläche der Erde liegen, und gemeinlich aus mit Rauch vermiſchten Waſſerdünſten beſtehen, aber zu dicht und ſchwer ſind, um in

die Luft gehoben zu werden; und Thau ward bis vor Kurzem als eine Verdichtung der Wasserdünste, die vorhin evaporirt waren, angesehen; allein Dr. Wells scheint mit großem Scharfsinn ausgemittelt zu haben, daß der Thau nicht fällt, wie man allgemein glaubt, sondern durch eine Verdichtung der Dünste, die aus der Erde kommen, im Augenblick ihres Aufsteigens entsteht; denn da die Erde bei Tage hinlänglich erwärmt wird, um Ausdünstung hervorzubringen, und ein schlechter Wärmeleiter ist, so behält sie ihre Wärme viel länger, als die Luft, die sie berührt, und sogar, nachdem diese Luft durch die Abwesenheit der Sonne so abgekühlt ist, daß sie außer Stand gesetzt ist, die einströmenden Dünste aufzunehmen, davon ist die Folge, daß letztere unmittelbar wieder in die Feuchtigkeit verwandelt werden, welche Thau heißt, und die immer bei Sonnenuntergang erscheint.

Die Anziehung zwischen Wasser und Luft ist wechselseitig, weßhalb man die Luft immer mit Wasser und andern Flüssigkeiten verbunden findet, auf dieselbe Weise, wie diese sich mit der Luft verbinden. Wird ein Glas Wasser unter die Glocke einer Luftpumpe gesetzt, und diese ausgepumpt, so wird die Luft im Wasser unmittelbar sich offenbaren, weil ihre Elasticität sie ausdehnt, und das Wasser mit Luftkügelchen gefüllt erscheinen, die durch Verminderung des Drucks größer werden, oben auf die Flüssigkeit steigen und entweichen. Wird die Luft über der Oberfläche des Wassers verdichtet, so wird eine größere Menge davon aufgenommen und absorbirt, als bei'm atmosphärischen Druck allein, und da verschiedene Grade der Anziehung zwischen den verschiedenen Gasarten und dem Wasser stattfinden, so wird, wenn kohlensaures Gas oder fixe Luft, wie es sonst genannt wurde, über Wasser condensirt oder zusammengedrängt wird, eine aufbrausende Flüssigkeit, wie Selzer- oder Sodawasser, ent-

stehen. Aufgezogenes Bier, sprudelnder Champagner und andere ähnliche Flüssigkeiten erhalten diese Eigenschaft durch die Bildung von kohlensaurem Gas, nachdem sie aufgezogen sind, und da das Gas nicht fortkann, so verbindet es sich mit der Flüssigkeit.

Die Verdichtung der Luft auf künstlichem Wege geschieht durch eine Pumpe oder Röhre, eine Condensationsröhre genannt, die in der Construction dem Cylinder einer Luftpumpe genau gleich ist, außer daß sich ihre Klappen in einer entgegengesetzten Richtung öffnen und wirken. Wenn man also in Fig. 58 die Klappe s im Boden des Cylinders, und die in t im Kolben als nach unten offen annimmt, statt nach oben, wie in der Figur, so wird, wenn der Kolben aufwärts gezogen wird, der innere Raum n s des Cylinders durch den Stempel mit Luft versorgt, statt durch die Klappe s; und wird der Stempel wieder niedergedrückt, so wird die Luft, weil sie nicht durch t zurückkehren kann, durch s getrieben, und durch die Röhre q in ein Gefäß oder einen Recipienten gebracht, den man zum Auffassen hinstellen kann, und so kann die Luft zu einem hohen Grade verdichtet werden.

Eine einfachere Form einer Condensationspumpe, die man für gemeinlich gebraucht, ist in Fig 62 im Durchschnitt abgebildet, worin w w der hohle Cylinder, und x der Kolben ist, der mittelst einer Kolbenstange und eines Handgriffs in ihm wirkt. Der Kolben hat keine Klappe in sich, sondern ist massiv, und die einzige Klappe im Instrument öffnet sich nach außen, und liegt am Boden des Cylinders, wie in y. In z befindet sich ein Loch zum Hinzutritt der Luft. Sobald x aufwärts gezogen wird, bewirkt es also ein vacuum oder eine Verdünnung in w w, bis es vor dem Loche z vorbeigeht, wo dann die Luft einströmt, und den Cylinder füllt, allein bei'm Niederdrücken von x geht der Kolben sehr bald vor dem Loche z vorbei, wo dann alle die Luft, die so in w w einge-

schlossen wird, durch die Klappe y getrieben werden muß, und nicht wieder zurückkehren kann.

Wegen der äußerst elastischen Beschaffenheit der Luft giebt es keine Gränze ihrer Verdichtung, die man so lange fortsetzen kann, als man Kraft hat, die Pumpe zu bewegen, und der Recipient stark genug ist, der Elasticität zu widerstehen, die mit dem Grade der Verdichtung zunimmt. Man hat sie sehr weit getrieben *), allein bei allen gemachten Versuchen ergiebt sich nicht, daß die Verdichtung eine Wirkung auf die Flüssigkeit, Durchsichtigkeit oder andere Merkmale der Luft hervorbringt **). Bei Versuchen mit verdichteter Luft muß man dafür sorgen, daß das Glas oder andere Recipienten stark und dick genug sind, weil der Druck nicht auf 14 Pfund für den Quadratzoll beschränkt ist, und keine gewölbte Form des Gefäßes, wie bei der Luftpumpe, angewandt werden kann, weil die Kraft von innen, statt von außen wirkt.

Die Verdichtung der Luft, und ihre vermehrte Federkraft im verdichteten Zustande, wird durch ein Instrument, welches in Fig. 63. abgebildet ist, sehr anschaulich. Es besteht aus einer hohlen Kugel g g (die von starkem Glas seyn muß, damit die Wirkung sichtbar ist), die auf einem Fußgestelle h befestigt ist, und einen Messingdeckel i hat, der auf ihren offenen Hals gekittet ist. Die Kugel wird halb mit Wasser gefüllt, und alsdann der Schließhahn k, der eine offene, bis beinahe an den Boden der Kugel reichende Röhre hat, in den Deckel i geschraubt; in diesem Zustande wird eine Condensationspumpe an den

---

*) Regnault glaubt, sie bis zum 100fachen getrieben zu haben. D. Uebers.

**) Es ist allerdings in neuern Zeiten gelungen, die atmosph. Luft durch Compression zu zersetzen. D. Uebers.

Obertheil des Hahns k geschraubt, und wenn diese in Thätigkeit gesetzt wird, während k offen ist, so sieht man die sämmtliche Luft, die sie hineinströmen läßt, in Blasen durch das Wasser vom Boden der Röhre l in die Höhe steigen, und sich in die obere Hälfte der Kugel begeben. Wenn nun so eine zureichende Verdichtung bewirkt ist, muß der Hahn geschlossen werden, und man nimmt die Pumpe weg, an deren Stelle man das kleine Mundstück m einschraubt, worauf bei Oeffnung des Hahns k eine Fontäne hervorgebracht wird, die im Verhältniß zu dem Grade der Condensation in die Höhe springt, und so lange, bis entweder alles Wasser ausgeleert ist, oder die Luft innerhalb der Kugel eben so dünn wird, wie außerhalb, was nur stattfinden kann, wenn die Verdichtung nur zu einem ganz unbedeutenden Grade getrieben ist.

Diese Fontäne wird dadurch wichtig, daß sie die Natur und Wirkung der pneumatischen Gefäße (Windkessel) sehr gut darstellt, die bei verschiedenen Pumpen angewandt werden, um ein kräftiges, gleichmäßiges und beständiges Ausströmen des Wassers zu machen, so wie z. B. bei Feuerspritzen. Wir werden daher in der Hydraulik darauf zurückkommen.

Die Windbüchse ist das beste Beispiel von der erstaunlichen Kraft, die die Luft auszuüben im Stande ist, wenn sie zu einem beträchtlichen Grade verdichtet ist; denn mittelst dieses Instruments werden Kugeln mit einer Kraft fortgeschossen, die beinahe der des Schießpulvers gleichkömmt. Es ist sonderbar, daß, da die Luftpumpe eine neuere Erfindung ist, doch die Windbüchse, die in der Einrichtung ihrer Klappen und Condensationsröhre mit ihr so nahe verwandt ist, lange vor ihr existirt hat; denn wir finden, daß Marin aus Lisieux in der Normandie schon 1408 eine Windbüchse für Heinrich IV. verfertigte;

und eine andere war in dem Zeughause zu Schmetau aufbewahrt, die sich von 1474 herschrieb. Die jetzige Windbüchse ist indeß sehr verschieden von denen, wie sie ehedem gemacht wurden, und die nur eine einzige Kugel nach einer langen und langweiligen Condensation abschossen, während sie jetzt fünf oder sechs ohne eine sichtbare Kraftveränderung abschießt, und selbst ein Dutzend, aber mit minderer Wirkung. Die allgemeine Form der Windbüchse, wie sie jetzt gemacht wird, ist der einer Jagdflinte sehr ähnlich, nur daß das Schloß keinen Stein hat, und daß eine starke eiserne oder kupferne Kugel unter dem Rohr befestigt ist, in welcher die verdichtete Luft enthalten ist. Die wesentlichen Theile sind in Fig. 64 abgebildet, durch welche deren Gebrauch und Wirkung hinlänglich verständlich wird: n ist das Rohr der Büchse und o die an den untern Theil derselben geschraubte Luftkugel; diese Kugel hat inwendig eine konische Metallklappe p, die sich nach innen öffnet, und durch eine Feder auf ihre Oeffnung gehalten wird; q ist der Hahn des Schlosses, der, nachdem er gespannt ist, bei'm Abdrücken auf gewöhnliche Art niederschlägt und dabei einen Schlag auf den Stahlstift r thut, der sich luftdicht in einem ledernen Futter bewegt, und so wird die Klappe p geöffnet, und eine Quantität verdichtete Luft durch eine zu diesem Behuf gelassene Oeffnung hinter die Kugel gelassen, welche natürlicherweise herausgetrieben wird. Man muß bemerken, daß der Hahn q so eingerichtet ist, daß er bei'm langsamen Niederlassen den Stift r nicht ganz berührt, und folglich die Klappe nicht öffnet, aber wenn er durch den Drücker abgeschnappt wird, die Heftigkeit des Schlages ihn etwas biegt und so eine augenblickliche Oeffnung der Klappe stattfindet, die nicht zureichend ist, die ganze Luft fortgehen zu lassen, und durch diese Vorrichtung ist ein ein-

ziges Laden des Windfangs hinlänglich, um mehrere Kugeln abzuschießen, während bei einer andern Einrichtung die ganze Luft auf Einmal fortgehen würde. Es erfordert beträchtliche Kraft und Zeit, die Windkugel einer solchen Büchse zu laden, und Fig. 65 zeigt die Vorrichtung, wodurch dieß gemeinlich bewirkt wird; indem s die von der Büchse abgenommene Kugel vorstellt, die auf die Spitze einer starken eisernen Röhre x geschraubt ist, die wie Fig. 62 eingerichtet ist, aber an beiden Seiten Griffe t t hat; die Kolbenstange v ist an einem eisernen Kreuze w w befestigt, auf das der Ladende mit den Füßen tritt, und das ganze Rohr und die Kugel x und s werden durch die Griffe t t auf und nieder bewegt, bis die Elasticität der in der Kugel verdichteten Luft einen sehr wirksamen Widerstand leistet. — Der Luftschlauch o wird zuweilen dadurch hergestellt, daß man zwei Röhren, eine in der andern, gebraucht, in welchem Falle die Luft in dem Raume zwischen beiden verdichtet wird. Die Condensationspumpe wird auch bisweilen an's Ende der Büchse gebracht, statt davon abgesondert zu seyn, und an einigen ältern Windbüchsen befand sich ein Kasten, der 10 oder 12 Kugeln enthielt, und die nach einander in den Lauf fielen, in welchem Falle das Instrument eine Magazin-Windbüchse genannt wurde, deren Beschreibung man in irgend einer Encyclopädie nachsehen mag.

Wenn die atmosphärische Luft durch irgend eine Ursache in Bewegung gesetzt wird, so entsteht die Erscheinung, die man Wind nennt, und wiewohl viele Umstände diese Bewegung herbeiführen können, so ist doch der hauptsächlichste davon Veränderung der Temperatur. Denn da sich alle Körper durch die Wärme ausdehnen, und ihre Theilchen weiter aus einander bringen, so muß erwärmte Luft specifisch leichter seyn, als kalte, und folg-

lich in der Atmosphäre, vermöge ihrer größern Leichtigkeit, steigen. Rauch steigt in den Schornsteinen bloß durch seine Beimischung zu der erwärmten Luft, und der Feuerballon, der die erste Art von Luftball war, und der in Frankreich von Mongolfier so groß gemacht wurde, daß er einen Menschen zu einer bedeutenden Höhe in die Luft heben konnte, steigt bloß, weil die Luft darin durch das Feuer darunter so erwärmt ist, daß der Unterschied der Dichtigkeit von solcher Bedeutung ist, daß das Gewicht der Maschine nebst ihrer Last überwunden wird. Künstliche Winde kann man alle Tage im Kleinen sehen bei den Strömungen und dem Zuge der Luft in unsern Häusern; denn wenn eine Luftströmung mittelst des Feuers in einem Zimmer im Kamin hinaufgetrieben wird, so wird der Mangel durch frische Luft ersetzt, die durch jede Ritze hereinbläs't, und werden diese verstopft, so raucht der Kamin aus Mangel an Luftzufluß. Die wärmste Luft findet man gleichfalls in der Höhe jedes bewohnten Zimmers, und die kälteste am Boden desselben; folglich ist die Gallerie eines Schauspielhauses immer wärmer, als das Parterre; und da erwärmte Luft beständig zu steigen fortfährt, so findet man allgemein, daß bei'm Oeffnen eines erwärmten Zimmers die Flamme eines über die Thür gehaltenen Lichtes nach Außen flackert, indeß ein anderes Licht unten am Boden dieß nach Innen thut, woraus man sieht, daß zwei entgegengesetzte Windströmungen zu gleicher Zeit durch dieselbe Oeffnung gehen, denn während die warme Luft durch den oberen Theil der Thür entweicht, kömmt ein Ersatz der kalten Luft am Boden herein.

Die Land- und Seelüfte, die sich auf den Inseln der heißen Zone finden, sind bloß dieselbe Wirkung im Großen, und geben eine sehr genügende Erklärung

der Art und Weise, wie die Winde durch eine Veränderung der Lufttemperatur entstehen können. Bei diesen streicht der Wind, während der heißesten Tageszeit, von allen Seiten an, und scheint gegen den Mittelpunkt der Insel zu wehen, indeß er Nachts seine Richtung ändert, und aus dem Mittelpunkt des Landes gegen die See weht; denn da die Sonnenstrahlen durch ihre Reflection auf dem Lande weit mehr Wärme, als über'm Wasser erzeugen, so wird die Portion Luft, die über dem Lande liegt, bald erwärmt und steigt in die Höhe; eine Verdünnung und Verminderung der Luftmenge über dem Mittelpunkte des Landes wird dadurch veranlaßt, die von den Seiten ersetzt werden muß; aber da sich das Land bei Nacht wieder abkühlt, so wird sich der Theil der Luft, der vorhin aufgehäuft war, wieder zu senken anfangen, und dadurch, daß er sich ausbreitet und in's Gleichgewicht setzt, einen Wind erzeugen, der von dem Mittelpunkte bläs't.

Die Passatwinde, die wegen des Vortheils, den ihre Beständigkeit den Handelsschiffen giebt, auch Handelswinde heißen, sind ein anderes Beispiel dieser Art. Sie wehen zwischen den Wendekreisen das ganze Jahr hindurch von Osten nach Westen, und kommen von der Verdünnung der Luft durch die Sonnenwärme, und der Bewegung der Erde von Westen nach Osten; denn da jene Erdregionen der Linie höchst heiß sind, und jedwede Stelle, die so erwärmt ist, durch diese Bewegung gegen Osten gebracht wird, und andere Stellen nach Westen zu auf gleiche Weise nach der Reihe erwärmt zu werden anfangen, während die weiter nach Osten liegenden, nachdem sie unter der Sonne durchgegangen sind, schnell abgekühlt werden, so bewegt sich die kalte Luft von Osten nach Westen, um die Verdünnung zu ersetzen, die sich da beständig bildet,

und bringt so den immerwährenden Ostwind hervor, der unter dem Namen Passatwind bekannt ist. Wenn die Sonne nördliche Declination, oder die nördliche Hemisphäre Frühling und Sommer hat, so drehen sich die Handelswinde gleichfalls nach Norden, und wehen weiter nach Süden, so wie sie sich dem Südwendekreise nähert. Man findet sie in dem Stillen oder Großen Westoceane, im Atlantischen und Aethiopischen Meere, aber wegen der Lage des Landes und der Gebirge, die das Indische Meer begränzen, wehen sie dort in verschiedener Richtung, und ändern diese zweimal des Jahres. Unter diesen Verhältnissen heißen sie Mussonwinde, und wehen vom April bis zum September von S.O. nach N.W. und vom October bis April von N W. nach S.O., denn während die Sonne durch die sechs Bilder der Nordbahn geht, werden die verschiedenen Länder von Arabien, Persien, Indien und China so erwärmt, daß der Wind dadurch gegen sie zu wehen bestimmt wird, während in den übrigen sechs Monaten, wo die Sonne im Süden des Aequators steht, der Wind von diesen Ländern her weht. Es giebt verschiedene Arten von Mussonwinden in verschiedenen Aequatorgegenden der Erde, die sich aber alle auf dieselben oder ähnliche Ursachen zurückführen zu lassen scheinen, denen sie Dr. Halley zuerst zugeschrieben hat.

Unter den Winden, die unregelmäßig oder nicht beständig, sondern zufällig sind, können der Wirbelwind, der Harmatan und der Sirocco als die merkwürdigsten angemerkt werden. Der erste davon wird durch das Zusammentreffen von zwei oder mehreren Windströmen aus entgegengesetzten Richtungen veranlaßt, was bloß durch eine vorübergehende, aber gewaltsame Störung des Gleichgewichts herbeigeführt werden kann. Der Harmatan findet sich auf der Westküste von Afrika, und ist ge-

meinlich mit großer Hitze und Nebel verbunden; er scheint durch einen Kampf zwischen dem heißen Sande von Afrika und der regelmäßigen Richtung der Passatwinde über dieses feste Land, und durch eine Störung ihres Laufs veranlaßt zu werden; er ist häufig Vorbote eines Orkans in Westindien. Der Sirocco findet sich in Aegypten, auf dem Mittelländischen Meere und in Griechenland, und zeichnet sich besonders durch seine sehr schädlichen Eigenschaften aus. Die Luft wird durch den heißen Sand von Aegypten und Libyen, über den sie geht, so trocken und verdünnt, daß sie kaum athmenbar ist, und in diesem Zustande nimmt sie so viel Feuchtigkeit aus dem Mittelländischen Meere auf, daß sie einen erstickenden und drückenden Nebel bildet.

Die Kraft des Windes oder der bewegten Luft wird durch Instrumente ausgemittelt, welche Anemoskope oder Anemometer heißen, und verhält sich, wie die Quadrate seiner Geschwindigkeit. Einige von den merklichen Wirkungen des Windes, wie sie von Smeaton nach Rouse's Berechnungen in den Philos. Transact. Vol. 51 angegeben sind, sind folgende: Wenn er sich in einer Stunde eine Englische Meile weit bewegt, so sind seine Wirkungen kaum bemerkbar; zwischen 4 und 5 Englischen Meilen die Stunde, bringt er, was man gemeinlich einen frischen Wind nennt, hervor; von 10 zu 15 Meilen die Stunde macht er einen scharfen Wind; von 30 zu 45 Meilen, einen ungestümen Wind; von 50 zu 60 Meilen einen Sturmwind; und von 80 zu 100 Meilen die Stunde, einen Orkan, wie er zuweilen in Westindien vorfällt, und der Häuser, Bäume und Alles, was sich seiner Kraft entgegensetzt, umreißt. Das Weitere über die Natur und Kraft der Winde findet man in Dr. Halley's vortrefflichen Schriften in den Philos. Transact. und denen von Smeaton (1759)

und Edgeworth ebendaſ., Vol. 73 und in Chevalier Borda's Schrift (Mém. de l'Acad. des Scienc. 1763). Als eine praktiſche Regel ſetzt Smeaton nach ſeinem Freunde Rouſe feſt, daß das Quadrat der Geſchwindigkeit von jedem Winde mit 16 multiplicirt, das Product des Impulſes oder des Widerſtandes auf einen Quadratfuß in Grag ewicht gebe.

Sechster Abschnitt.

Akustik.

Die Entstehung und Fortpflanzung des Schalls wird in der Wissenschaft behandelt, die wir Akustik nennen, und wiewohl diese auf den ersten Anblick völlig von der Pneumatik abgesondert und geschieden zu seyn scheint, so muß doch, wenn man bedenkt, daß die Empfindung des Schalls in fast allen Fällen vermittelst der Luft dem Ohre mitgetheilt wird, daß viele Töne durch die Luft selbst hervorgebracht, und daß sie alle durch ihren Durchgang durch die Luft modificirt werden, diese Verbindung uns hinlänglich berechtigen, die Akustik wenigstens als eine Ergänzung der Pneumatik zu betrachten.

Schall ist die Wirkung von gewissen Bewegungen oder Schwingungen, die in tönenden Körpern hervorgebracht werden, und die sich der Luft und darauf dem Ohre auf eine Weise mittheilen, welche wir weiterhin erklären wollen. Mithin bringen diejenigen Körper die deutlichsten und hörbarsten Laute hervor, welche so elastisch sind, daß sie sich in zitternde oder schwingende Bewegung setzen lassen, und je schneller die Schwingungen sind, je schärfer oder höher wird der dadurch hervorgebrachte Laut.

So erzeugt eine Kugel von feuchtem Thon, die keine Elasticität besitzt, wenn sie geschlagen wird, keinen andern Schall, als den, der aus dem Zusammendrücken der kleinen Portion Luft zwischen dem Thon und dem schlagenden Hammer entsteht. Eine hohle Messingkugel macht mehr Schall, weil sie elastisch ist, jedoch wird sie noch immer sehr geringe Wirkung haben, weil eine Kugel die unvortheilhafteste Form ist, um Schwingungen zuzulassen, weil sie in jeder Richtung ein Gewölbe oder einen Bogen bildet, so daß ein Theil den andern hält und stützt; wird aber solch eine Kugel durchschnitten, und an den Rand der einen Halbkugel geschlagen, so entsteht ein lauter, heller und deutlicher Ton, weil eine Halbkugel die Wirkung der Elasticität, oder der augenblicklichen Veränderung der Gestalt, die zur Vollkommenheit des Schalls wirkt, zuläßt, und sonach haben die Glocken aller Art eine fast hemisphärische Form. Der Knall der Schießgewehre, das Klatschen der Peitsche und der Hände, und selbst der Donner wird auf gleiche Weise durch einen plötzlichen, der Luft mitgetheilten Anstoß hervorgebracht, und dem Ohre durch eine Reihefolge von Pulsationen oder Vibrationen, die in die Luft übergehen, mitgetheilt; allein die Luft kann nicht als der einzige Schallleiter betrachtet werden, da alle elastische Körper ihn gleichfalls, wiewohl nicht immer so vollkommen und schnell, fortpflanzen. So kann man das leiseste Kratzen mit einer Nadel am Ende eines langen Stücks Bauholz deutlich hören, wenn man das Ohr an's andere Ende hält. Man nimmt allgemein an, daß der Schall durch die Luft durch eine Reihefolge von Pulsationen oder concentrischen Schwingungen gebracht werde, die denen gleich kämen, welche auf einer glatten Wasserfläche entstehen, wenn ein Stein hineingeworfen wird. Der schallende Körper ist sonach im Mittelpunkt, und die Wel-

len oder Pulsationen nehmen an Stärke ab, so wie sie sich von dem Mittelpunkte entfernen, bis sie zuletzt so schwach werden, daß sie keine Wirkung mehr auf die Gehörnerven hervorbringen können. Auf diese Weise, sagt man, geht der Schall durch die Luft, und man hat gefunden, daß er sich auf eine gleichmäßige Weise bewegt, indem er im Verhältniß zu der Zeit einen Raum durchfliegt, der ziemlich 1,142 Fuß in einer Sekunde beträgt. Daß der Schall sich mit dieser Geschwindigkeit bewegt, ist leicht auszumachen; denn wenn wir einen Holzhacker in einer kleinen Entfernung einen Baum niederhauen sehen, so sieht man den Hieb seiner Axt in dem Augenblicke, wo er geschieht, vermöge der ungeheuern Geschwindigkeit, womit das Licht fortgeht (vergl. die Optik im Anfange); aber der Schall des Hiebes gelangt erst zum Ohre, wenn eine gewisse Zeit nach dem Hiebe verflossen ist, die sich nach der Entfernung richtet. Um die Geschwindigkeit des Schalls genau auszumitteln, muß sich Jemand auf einen Platz stellen und ein Pistol auf ein gegebenes Signal abfeuern, der Beobachter ein, zwei, drei oder mehrere Mal 1142 Fuß auf einer geraden Ebene abmessen, und, nachdem er sich an eine dieser Distanzen gestellt hat, mit einer Hemmuhr oder noch besser mit einem Sekundenpendel versehen seyn, den man zu diesem Behufe von einer gewöhnlichen Schlaguhr nehmen kann, und im Augenblicke, daß er den Blitz des Pistols sieht, muß er die Uhr beobachten, oder den Pendel schwingen lassen, wo er dann findet, daß so viele Sekunden zwischen dem Blitz und dem bemerkten Knall verstreichen, als die Anzahl der Male von 1,142 Fuß beträgt, die er sich von dem Pistol stellt. Man hat eine kleine Meinungsverschiedenheit, rücksichtlich der Geschwindigkeit der Schallbewegung, gehabt, indem Boyle sie auf 1,200 Fuß, die kön. Aca-

demie zu Paris auf 1,172, und die Academie zu Florenz sie auf 1,148 Fuß setzte; allein Newton, Flamstead, Dr. Halley und Dr. Derham setzen sie einstimmig auf 1,142 Fuß. Niemand hat vielleicht den Gegenstand mit größerm Fleiß, Beharrlichkeit und Genauigkeit verfolgt, und hatte solche Gelegenheit dazu, als der letzte, der nicht nur seine Versuche rücksichtlich der Entfernung, sondern der Mittel, wodurch der Schall hervorgebracht wurde, abänderte, und fand, daß der Schall, er mochte von grobem Geschütz, oder von Pistolen oder Hammerschlägen u. s. w. herrühren, dieselbe Zeit einnahm, um durch denselben Raum zu gehen, und daß man die Entfernung der Orte von einander durch die Schallbewegung mit eben solcher Genauigkeit, als durch trigonometrische Messung bestimmen konnte.

Die Geschwindigkeit des Schalls steht indeß bei'm Durchgange durch die Luft in einem geringen Grade unter dem Einfluß der Stärke und Richtung des Windes, welches Verhältniß Derham auch genau bestimmt hat. Die Distanz, die er zu diesem Behuf anwandte, betrug fast 13 Englische Meilen, und er fand, daß, wenn der Wind frisch in der genauen Richtung des Schalls blies, er in 111 halben Sekunden zu ihm gebracht wurde, aber wenn er gerade gegen den Schall blies, sein Durchgang 120 bis 122 halbe Sekunden einnahm; ein Queerwind schien aber nicht die geringste Aenderung in der Schallbewegung zu machen. Durch die Kenntniß der Geschwindigkeit der Schallbewegung kann man die Entfernung einer Gewitterwolke, oder eines Kanonenschusses auf einem Schiffe zur See, selbst bei Nacht sehr genau ausfinden. Im ersten Falle muß man die Zeit zwischen dem Blitz und dem Donner nehmen, und wenn eine Hemmuhr oder ein Pendel nicht bei der Hand ist, den Puls fühlen, denn die Pulsschläge ei-

nes gesunden ausgewachsenen Menschen kommen so ziemlich mit den Sekunden überein, daß in der Zeit von 4 oder 5 Schlägen kein merklicher Unterschied entstehen kann. Daß nicht alle Substanzen mit gleicher Geschwindigkeit und Leichtigkeit, wie die Luft, den Schall fortpflanzen, kann man dadurch beweisen, wenn man das Ohr an eine lange, trockene Backsteinmauer legt, und Jemand in einer beträchtlichen Entfernung einmal mit einem Hammer daran schlagen läßt, wo man dann den Schall zweimal hört, weil die Luft ihn mit größerer Geschwindigkeit bringt wie die Mauer, wiewohl ihn beide an's Ohr bringen.

Der Schall, wie das Licht. nimmt ab, wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen, und auch er kann zurückgeworfen werden; wenn er folglich gegen einen elastischen Körper von hinlänglicher Größe trifft, um aus seiner Richtung getrieben zu werden, so entsteht ein Echo oder Wiederhall, denn dieses ist nichts weiter, als ein zurückgeworfener Schall. Eine beträchtlich große, glatte Wand bringt es in großer Vollkommenheit hervor, und da aller Schall von der Stelle zu kommen scheint, wo er hervorgebracht wird, oder von dem Punkte, aus dem er zurückgeworfen wird, so wird die anscheinende Richtung des Schalls durch einen Wiederhall völlig verändert. Die Gesetze, nach denen die Schallbrechung geschieht, sind denen der Strahlenbrechung völlig ähnlich (vergl. die Optik), folglich wird nur die Richtung des Schalls verändert, wenn er auf eine ebene Oberfläche fällt, während er concentrirt oder in einen Focus gebracht wird, wenn er auf eine concave Fläche fällt; und verbreitet oder aus einander getrieben und geschwächt wird, wenn sie conver ist. Mehrere akustische Belustigungen und Täuschungen hängen von diesen Umständen ab. So bringt die Flüstergal-

lerie an der Basis der Kuppel der St. Paulskirche, die eine hohle Halbkugel ist, ein Echo hervor, das sich concentrirt, und dadurch den Schall auf eine Weise verstärkt, die die Fig. 66 begreiflich machen wird, worin M die Stelle des Mundes des Sprechenden bezeichnet, und E die des Ohrs des Hörers. Da nun der Schall in allen Richtungen gleichförmig ausstrahlt, so geht ein Theil desselben geradezu von M nach E, während andere Strahlen desselben von M nach u und nach z ꝛc. gehen; allein der Strahl, der auf u stößt, wird auf E zurückgeworfen, während der, der z zuerst berührt, auf y reflectirt wird, und von da auf E, und so alle die Zwischenstrahlen, die nicht mit gezeichnet sind, um Verwirrung zu vermeiden. Der Schall wird also in E viel stärker seyn, als wenn er unmittelbar von M ohne die Hülfe der Kuppel ausgegangen wäre, denn dann wären die Strahlen in z und u in geraden Linien gegangen, und hätten nie zu dem Punkte E kommen können. Die steinernen Nischen an den entgegengesetzten Seiten der Westminsterbrücke, bringen als Halbkuppeln eine ähnliche Wirkung hervor; denn wenn Jemand in den Focus einer derselben hineinflüstert, so wird er von dem, der im Focus der entgegengesetzten steht, deutlich gehört. So kann man machen, daß zwei leblose Büsten sich zu unterreden scheinen, wenn man sie in die Mittelpunkte von zwei großen Hohlspiegeln von Pappe stellt, die gegen einander über stehen; denn was man der einen zuflüstert, das wird durch die Reflection des Schalls von der andern zu kommen scheinen *).

*) Das Nähere über dieß Experiment findet sich in Hooper's Rational Recreations, Vol. II., p. 220, oder Encycl. Britannica, Art. Acoustics. In beiden Werken sind viele akustische Belustigungen beschrieben.

Echo's werden in allen Zimmern durch die Zurückprallung des Schalls von den Wänden hervorgebracht, aber wegen der Geschwindigkeit, womit er fortgeht, sind sie in kleinen Gemächern unmerklich, weil der Schall keine für das Ohr merkliche Zeit braucht, um sich vom Munde nach den Wänden zu bewegen und wieder nach dem Ohr zurückzukommen, folglich werden der ursprüngliche Schall und sein Wiederhall so mit einander gemischt, daß sie nur ein einziger Schall zu seyn scheinen. So wie die Dimensionen des Zimmers zunehmen, nimmt auch die Lücke zu, und in Gebäuden zur Musik, oder zu öffentlichen Reden ist das Echo oft höchst nachtheilig, und schwer zu beseitigen. Das Durchbrechen der Decke, oder Anbringen von erhabener Arbeit und Verzierungen, wodurch sie uneben wird, scheint das wirksamste Mittel zu seyn, den Schall zu dämpfen, und Echo's zu verhüten; und da Wolle und Sägespäne sehr schlechte Schallleiter sind, so werden Teppiche oder Mohr- oder andere wollene Tapeten die starke Wirkung der Musik in einem Zimmer zerstören; und ein Echo von einer hohlen Scheidewand oder Decke kann man oft vermindern, wo nicht ganz wegbringen, wenn man Sägespäne dahinter legt.

Um ein deutliches Echo von einer Sylbe, oder einem einzelnen Laute hervorzubringen, muß der reflectirende Gegenstand wenigstens 60 — 70 Fuß von dem Ausgangspunkte des Schalles entfernt seyn, so daß dieser durch einen Raum von 60 — 70 Fuß zu gehen hat, um zu dem Reflector zu kommen, und abermals eben so viel Fuß zum Ohre zurück, was 120 bis 140 Fuß im Ganzen ausmacht, und in etwas weniger, als in einer Achtelsekunde, nachdem der Schall hervorgebracht ist, vor sich geht, einem Zeitraume, der so klein ist, daß, wenn er vermindert würde, der Wiederhall offenbar sich mit dem Schalle selbst verbinden würde, weil das menschliche Ohr binnen 1 Sekunde höchstens 8 — 9 Töne zu unterscheiden

vermag. Zu einem Echo von drei Sylben muß der Schall 1,000 Fuß gehen, oder der Gegenstand, von dem die Schallstrahlen abprallen, muß 500 Fuß entfernt seyn.

Da der Schall in allen Richtungen ausstrahlt, so muß, wenn die Strahlung dadurch gehemmt wird, daß er in Röhren eingeschlossen wird, er auf eine große Weite fortgepflanzt werden können, ohne seine Wirkung zu vermindern; und hierauf beruht der Nutzen und Gebrauch der blechernen und zinnernen Sprachrohre, die jetzt so allgemein angewandt werden, um aus einem Theile des Hauses zum andern Nachricht zu geben. Das unsichtbare Mädchen, welches 1806 in London so viel Aufsehen erregte, bestand bloß aus einem Sprachrohre, das sich heimlich in dem Zimmer öffnete, und so eingerichtet war, daß es seinen Schall in die weiten Oeffnungen einiger Sprachtrompeten warf, die zum Auffangen desselben gestellt waren, und durch Reflexion des Schalls einen künstlichen Wiederhall machten, wodurch die anscheinende Richtung desselben so verändert wurde, daß es schien, als käme er ursprünglich aus dem Innern der Kugel, an der die Trompeten saßen. (Die einzige darüber erschienene Nachricht findet sich in Nicholson's Journal of Nat. Philos. etc. 8te Ausgabe, Bd. XVI. S. 69, wo eine Zeichnung und Auseinandersetzung davon gegeben ist.)

Mit der Sprachtrompete läßt sich auch der Schall in eine weite Entfernung führen, indem sie die Ausstrahlung hemmt, und ihn in der Axe oder Centrallinie des Instruments sich fortbewegen läßt. Sie bringt diese Wirkung dadurch hervor, daß sie den Schall, der auf ihre Seiten stößt, in diese Linie zurückwirft. Einige haben behauptet, daß die umgekehrte Parabel die beste Form sey, und daß man den Mund an den Focus derselben setzen müsse; allein die Erfahrung zeigt, daß die logarithmetische oder logistische Krümmung besser, und sonach diejenige ist, die man ge-

wöhnlich anwendet. Fig. 67 zeigt etwas der Form dieser Krümmung Aehnliches, die so eingerichtet ist, daß n o die Axe ist, wenn a b c d e und f einander gleichen, so erhalten wir folgende Proportionen: a g : b h = b h : c i = c i : d k, und so weiter. Diese Form der Trompete befördert nicht nur den Schall weiter, sondern fängt ihn mit gleicher Leichtigkeit auf, und ist also die beste sowohl zum Hören, als zum Sprechen. Zum Beweise dessen stelle man zwei solche Trompeten in der genauen Richtung ihrer gemeinschaftlichen Axe einander gegenüber, und was man in die eine noch so leise flüstert, wird man deutlich hören, wenn man das Ohr an die andere hält, und wenn auch ein großer Zwischenraum in einem Zimmer zwischen beiden ist.

Die Art und Weise, wie das Hören und die Unterscheidung eines Lauts von dem andern bewerkstelligt wird, scheint in dieselbe Dunkelheit gehüllt zu seyn, die über allen übrigen feinen physiologischen Untersuchungen liegt. Alles, was man wissen kann, ist der mechanische Bau und die Wirkung des Ohrs, dessen kurze Beschreibung folgende ist: das äußere Ohr, welches bei'm Menschen ziemlich unbeweglich, ist seiner allgemeinen Form nach wunderbar berechnet, um die zitternden Schallstrahlen aus allen Richtungen aufzufangen, und sie in die innere Höhle zu bringen, wo sie ihre Wirkung auf die Nerven machen sollen. Bei Thieren ist die Bildung verschieden, und vorzüglicher geeignet, den jedesmaligen Schall bei einer besondern Richtung aufzufangen; allein das äußere Ohr ist beweglicher, damit es in die Richtung gesetzt werden könne, aus der der Schall kömmt; die Verrichtung ist indeß in beiden Fällen gleich, nämlich den Schall aufzunehmen, und in eine Röhre zu führen, die durch den Schädel geht, in dessen Innern die Gehörorgane liegen. Diese Röhre heißt der meatus auditorius, und endigt sich durch das Trommelfell oder die membrana tympani, eine zarte,

dünne Haut, die queer durch den Gehörgang ausgespannt ist, und ihn völlig verschließt. Am Rücken oder hinter dieser Haut sitzt der Stiel eines kleinen Knochens, der Hammer oder malleus genannt, dessen Kopf auf der einen Seite in einem Knochensinus beweglich ist, und an der andern mit einem andern kleinen Knochen, dem Ambos oder incus, artikulirt, der sich in dieser Artikulation frei bewegt; am andern Ende artikulirt der Ambos wieder mit einem sehr kleinen Knochen, dem os orbiculare, und mit dem Steigbügel (stapes), der unten mit einer Haut verbunden ist, die sich über das foramen ovale oder das eirunde Loch einer andern Knochenhöhle ausbreitet, die das vestibulum heißt; diese ist wieder durch fünf Oeffnungen mit drei von Knochen umgebenen Höhlen verbunden, die die canales semicirculares heißen. Der kleinere Theil des vestibulum öffnet sich in ein anderes sehr sonderbar gebautes Organ, was bei'm Hören eine wichtige Verrichtung zu haben scheint; dieß ist die Schnecke (Cochlea), und gleicht einem Schneckenhause sehr, indem sie knöchern ist, und eine Höhle bildet, die von der Basis bis zur Spitze eines stumpfen Knochenkegels $2\frac{1}{2}$ Windungen hat. Der dadurch gebildete Spiralgang wird durch eine Queerscheidewand (septum) getheilt, die dreieckig, dick und knöchern nächst dem in der Mitte befindlichen Kegel ist, und nach Außen in eine häutige nervöse Textur sich verdünnt, ſ daß der obere und untere Gang dieses Kanals keine Verbindung mit einander haben, sondern der obere sich in das vestibulum öffnet, und das oberwähnte eirunde Loch sich in den untern öffnen würde, wenn es nicht durch die dünne Haut, woran der Steigbügel sitzt, verschlossen wäre. Der Gehörnerv geht durch verschiedene kleine Oeffnungen in's vestibulum, und bildet einen besondern Ueberzug sowohl

über dieses, als über die Canales semicirculares und die Schnecke, in die er geht, indem er sich zwischen den beiden Häuten ausbreitet, die die obbemeldete Scheidewand bilden, und nachdem er zu ihrem dünnen Rande fortgegangen ist, theilt er sich auf eine äußerst feine Weise, und wird so das unmittelbarere Organ des Gehörs. Diese verschiedenen Höhlen sind mit einer weißen, hellen Flüssigkeit gefüllt, auf deren wechselnder äußerst geringer Compression und Dilatation der Gehörsinn zu beruhen scheint. Denn die Schallschwingungen werden bei ihrem Eintritt in den äußern Gehörgang zuerst durch das Trommelfell unterbrochen, welchem sie eine zitternde Bewegung mittheilen, die so gleichfalls dem Hammer, der mit dieser Haut in Berührung liegt, mitgetheilt werden, und da der Hammer und Ambos mit einander verbundene Hebel sind, so wird ihre Bewegung durch das os orbiculare dem Steigbügel mitgetheilt, der die Stelle eines Kolben vertritt, und sich in dem foramen ovale des vestibulum luft- und wasserdicht bewegt, weil er nicht los, sondern an dem Mittelpunkte der Haut befestigt ist, die das foramen ovale überzieht, welche wieder an ihrem Rande mit dem Knochentheil des vestibulum verbunden ist. Jede Bewegung also, die der Steigbügel haben kann, wird die Flüssigkeit im vestibulum, in den canales semicirculares und der Schnecke comprimiren oder dilatiren, wodurch diese mit wechselnder Kraft auf die feinen und zarten Nerven drückt, womit diese Organe überzogen sind. Das vestibulum schickt auch noch eine Röhre nach dem Hintertheil des Mundes ab, die die Eustachische Röhre heißt, wovon man glaubt, daß sie zum Hören beitrage, indem sie die Schallstrahlen aufnähme, die in den Mund kämen. Es scheint also, daß alle Schallsensationen die Wirkung der mechanischen Thätigkeit oder Bewegung sind, die

am Trommelfell hervorgebracht, und folglich, wenn dieses durch die Wirkungen der Erkältung schlaff wird, es außer Stand gesetzt wird, zu vibriren, und Taubheit die Folge seyn muß.

Was die Fähigkeit der Körper, Schall hervorzubringen, betrifft, so ist dabei Freiheit der Schwingung, und die Berührung mit einer solchen elastischen Materie, die den Schall leitet, wesentlich nothwendig. Wenn daher ein Glas oder eine kleine Glocke durch Anschlagen zum Tönen gebracht sind, und sodann der Finger auf sie gehalten wird, so hört auf der Stelle der Klang auf, weil ihre Schwingungen gehemmt werden, und darauf gründet sich der Gebrauch der Dämpfer bei Fortepiano's und andern musikalischen Instrumenten; allein wenn die Hand auf eine große Thurmglocke, während sie schwingt, drückt, so wird ihr Laut dadurch nicht wesentlich afficirt, weil die Schwingungen einer so großen Masse von Materie ein hinlängliches Moment hervorbringen, um jedem kleinen Drucke zu widerstehen. Man hänge eine Glocke unter den Recipienten einer Luftpumpe in solcher Weise, daß sie ohne Berührung des Recipienten, seines Deckels oder der Pumpenscheibe geläutet werden kann, und so lange die Luft darin bleibt, wird man den Klang der Glocke deutlich hören; aber bei'm Auspumpen der Luft geht der Klang der Glocke so weit verloren, daß er kaum hörbar wird. Dieß Experiment zeigt nicht nur, daß die Luft ein Schallleiter ist, sondern beweis't zugleich, daß irgend ein elastischer Körper mit dem tönenden in Berührung seyn muß; denn wenn die Glocke das Glas oder Messing berührt, so bringen diese den Schall an die äußere Luft, und er wird hörbar.

Die Schwingungen der Körper werden durch Gesetze geregelt, die denen des Pendels sehr ähnlich sind, folglich

schwingen große Körper ungleich langsamer, als kleine, und je langsamer die Schwingungen sind, desto tiefer ist der Ton. Aus diesem Grunde werden die Saiten der musikalischen Instrumente von verschiedener Länge und Dicke gemacht, denn wenn zwei gleich starke, aber rücksichtlich ihrer Länge wie 2 zu 1 sich verhaltende Saiten gleichmäßig angespannt werden, so stehen ihre Schwingungen in demselben Verhältniß; die kürzeste wird also zwei Schwingungen machen, während die längste einmal schwingt. Ferner, wenn zwei Saiten von gleicher Länge, aber von ungleicher Dicke, so daß sich ihre respectiven Quantitäten von Materie, wie 2 zu 1, verhalten, gleichmäßig angespannt werden, so werden ihre Schwingungen wie vorhin seyn; und die Baßsaiten der meisten Instrumente sind übersponnen, um ihre Materie zu vermehren, sonst müßte man sie länger machen, um ähnliche Töne hervorzubringen. Ferner, wenn Saiten von gleicher Materie und Länge angewandt werden, so verhalten sich ihre Schwingungen umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Kräfte, die sie spannen. Dieß Spannen wird gewöhnlich durch Schraubstifte (Wirbel) bewerkstelligt, allein bei Experimenten muß man Gewichte nehmen, und wenn zwei Saiten gespannt sind, eine durch 4 und die andere durch 16 Pf. an Gewicht, dann werden, da die Quadratwurzel von 4, 2 ist, und die von 16 4, die Schwingungen der Saiten sich verhalten wie 2 zu 4, was eben dasselbe ist, wie 1 zu 2, und folglich werden sie im Resultat mit den obigen Fällen übereinstimmen.

Sobald zwei oder mehrere Körper zusammentönen, so treffen ihre Schwingungen in gewissen Intervallen zusammen, und je kürzer die Intervalle sind, desto angenehmer ist die Wirkung auf das Ohr. Dieß Zusammentreffen heißt ein Concord, und wenn die Schwingungen

gleich sind, so heißt dieser Concord ein Unisono. Wenn die Schwingungen wie 2 zu 1 sind, wie in den obigen Fällen, dann wird jede zweite Schwingung der kurzen oder feinen Saite mit der ersten, der langen oder starken, accordiren, und es entsteht der nächste vollkommene Concord (Accord), der Diapason oder Octave heißt. Wenn die Schwingungen sich wie 2 zu 3 verhalten, so geschieht das Zusammentreffen bei jeder dritten Schwingung der schnellsten, was deßhalb der nächste Perfectionsgrad ist, und Diapente oder Quinte heißt; während die Schwingung von 3 zu 4 das Diatessaron oder die Quarte macht; aber dieser und der nächste, der in der Reihe folgt, sind nicht so angenehm für das Ohr des Kenners, und heißen deßhalb unvollkommene Concorde. Durch die Kenntniß der Proportion, die sonach zwischen den Schwingungen der Saiten, und den Tönen, die sie hervorbringen, statt hat, kann auf Saiteninstrumenten die besondere Wirkung, welche Harmonie heißt, hervorgebracht werden; so giebt eine freie Saite einen gewissen Ton, aber wenn man sie sanft in der Mitte drückt, so entsteht sogleich die höhere Octave von der ersten Note, durch Berührung derselben bei $\frac{1}{3}$ von beiden Enden die Quinte ꝛc. Alle diese Wirkungen erfolgen von selbst, selbst ohne die Anwendung der künstlichen Griffe oder Stege; denn wenn eine lange Saite zum Schwingen gebracht ist, und man aufmerksam zuhört, so vernimmt man gemeinlich die Terze, Quinte und Octave zugleich mit dem Grundton. Dieß wird durch die Aeolsharfe sehr gut erläutert, auf welcher alle Saiten eintönig gestimmt werden, ehe man sie dem Luftzuge aussetzt, wo dann eine schöne Mannichfaltigkeit von Tönen hervorgebracht wird durch die natürlichen Eintheilungen, die in den Schwingungen der Saiten stattfinden.

Die Schallschwingungen eines tönenden Körpers haben eine wundersame Kraft auf alle andere Körper, die denselben Ton von sich geben können, und setzen dieselben aus einer beträchtlichen Entfernung in wirkliche Schwingung. Dieß nennt man die Tonsympathie. Um ihre Wirkungen zu sehen, spanne man zwei gewöhnliche Harfen- oder Violinsaiten über zwei Stege, an einer Seite des Zimmers, und stelle eine einzelne, auf dieselbe Weise behandelte Saite auf die Seite gegenüber; dann stimme man die ersten zwei Saiten nach zwei verschiedenen Noten, und lege ein Stückchen Papier in die Mitte von einer derselben, damit man durch die Bewegung desselben sehen kann, wenn Schwingung stattfindet. Streicht man nun die andere Saite, so bemerkt man keine Bewegung, und das Papier liegt still; stimmt man aber die dritte Saite gegenüber, so daß sie mit einer der Saiten, worauf das Papier liegt, unisono oder selbst in der Octave tönt, so wird dieß sogleich abgeworfen, vermöge der starken Schwingung, die durch das Antönen derselben entsteht trotz dem, daß die Saiten von einander entfernt sind. Dieß Experiment kann man eben sowohl mittelst einer Harfe oder eines andern Saiteninstruments machen, und erklärt das Wiedertönen, das diese Instrumente, wenn sie gestimmt sind, bei jedem Geräusch oder Schall in ihrer Nähe machen.

Es besteht nicht nur eine Sympathie zwischen ähnlichen Tönen, sondern es scheint einige Analogie zwischen den musikalischen Noten und dem Lichte stattzufinden; denn während das Licht in die sieben Grundfarben: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violet theilbar ist, im Verhältniß von 11 der ersten, 8 der zweiten, 14 der dritten, 17 der vierten und fünften, 11 der sechsten, und 22 der siebenten (vergl. Optik), findet man,

daß, wenn eine Saite in zwei gleiche Theile getheilt wird, und jede Hälfte wieder in 100 gleiche Theile, dieß die natürliche Scala der Noten giebt, wenn man an den entsprechenden Stellen einen Steg setzt; solchergestalt tönt die ganze Saite irgend eine einzelne Note, und bringt man den Steg in die eilfte Abtheilung vom Ende, so tönt sie die nächst höhere Note; bringt man den Steg 8 Abtheilungen weiter, so erfolgt die nächste Note; 14 Abtheilungen weiter geben die nächste, und so weiter, bis der Steg zum Mittelpunkte gerückt ist, wo die höhere Octave über dem ersten Tone entsteht. Die Lehre von den musikalischen Tönen ist aber so verwickelt und ausgedehnt, daß es unmöglich ist, den Gegenstand bei der Beschränkung des vorliegenden Werks zu erledigen; man lese also *Newton's* Principia, *Helsham's* Lectures, *Martin's* Philos. Britann. V. II. *Smith's* Harmonics, *d' Alembert* on Music etc. darüber nach.

Siebenter Abschnitt.

Hydrostatik.

Die Hydrostatik beschäftigt sich mit der Untersuchung der mechanischen Gesetze, die die Bewegungen, den Druck, die Schwerkraft und das Gleichgewicht tropfbarer Flüssigkeiten bestimmen, so wie auch ihre Wirkungen auf Körper, die auf ihnen schwimmen, oder in sie untergetaucht werden; dagegen die Einrichtung der verschiedenen Pumpen und Maschinen, um Wasser zu heben und zu leiten, und der Maschinerie, die es zu bewegen hat, oder die auf dasselbe wirken soll, zu einer besondern Abtheilung desselben Zweiges gemacht ist, die die Hydraulik heißt, und im nächstfolgenden Abschnitt abgehandelt werden soll.

Man hatte lange vermuthet, daß das Wasser sich nicht zusammendrücken lasse, aber dieß wurde erst 1650 in der Academia del Cimento zu Florenz zuerst auf eine sinnreiche Weise geprüft. Die Akademiker brachten reines Wasser in eine hohle Kugel von Gold, als dem dichtesten, damals bekannten Metalle, und eine Schraube, die in einer wasserdichten Mutter ging, ward sodann in die Kugel in's Wasser gezwängt, wodurch es mit großer Gewalt zusammengedrückt wurde, und nun fand man, daß das Wasser, eher als es sich zusammendrücken ließ, viel-

mehr wirklich durch die Poren des Metalls ausschwitzte, und wie Thau auswendig an der Kugel erschien. Dieß Experiment nennt man gemeinlich das Florentinische, nach dem Orte, wo es zuerst gemacht wurde.

Canton wiederholte hernach diesen Versuch auf eine sehr accurate Weise, und mit einiger Abänderung der Form. Er füllte eine gläserne Röhre, wie sie zu Thermometern genommen wird, nur von größerm Umfange, mit Queckſilber, und bemerkte, zu welchem Punkte das Queckſilber stieg, wenn das Ganze zu 50° Fahrenheit erwärmt wurde; darauf wurde das Queckſilber durch vermehrte Hitze ausgedehnt, bis die ganze Röhre gefüllt war, und nunmehr das Ende hermetisch versiegelt, worauf das Instrument wieder zu 50° abgekühlt wurde. Das Queckſilber war sonach vom Druck der Atmosphäre befreiet, und fiel nicht wieder auf seine ursprüngliche Stelle, sondern stand 0,32 eines Zolls höher, als vorher, welches bewies, daß Queckſilber eine ausdehnbare und mithin eine zusammendrückbare Flüſſigkeit sey. Die Röhre ward nunmehr ausgeleert, und Wasser, was lange gekocht war, um es von der etwa enthaltenen Luft zu reinigen, statt des Queckſilbers hineingethan, und dann auf dieselbe Weise behandelt. Nun fand sich, daß das Wasser 0,43 eines Zolles höher stand, als zuvor, da es von atmosphärischem Drucke betheiligt war, woraus Canton schloß, daß das Wasser ein wenig sich zusammendrücken lasse, wiewohl in einem so geringen Grade, daß es für eine praktische Anwendung ohne Bedeutung sey. Dieser Versuch war indeß nur sehr im Kleinen gemacht, und es ward nichts weiter gethan, um den Betrag der Condenſation, die das Waſſer zuließe, auszumitteln, bis zu unserer Zeit Perkins, der vor Kurzem aus den Vereinigten Staaten von Amerika nach England kam, einige sehr sinnreiche und

entscheidende Versuche darüber gemacht hat. Er ward zuerst durch die Betrachtung einer einfachen, aber bis dahin unerklärten Thatsache auf den Gegenstand geleitet, nämlich, daß, wenn eine Flasche, die ganz voll Wasser, wohl verkorkt und befestigt war, mittelst eines schweren Gewichts in die Meerestiefe gesenkt wurde, sie immer oben wieder so zurückkam, daß der Kork entweder nach innen, oder mehr oder weniger nach außen gestoßen, aber das enthaltene Wasser durch Beimischung des Seewassers salzig geworden war. Es fiel ihm auf, daß diese Wirkungen nicht stattfinden könnten, wenn sich das Wasser nicht zusammendrücken ließe, dagegen sie leicht erklärlich wären, sobald dieß der Fall wäre. Er machte also den Versuch, und nachdem er seine Körke mit starkem Packlinnen und Kitt wohl befestigt, und sich überzeugt hatte, daß die allgemein angenommene Wirkung statt habe, und keine Befestigung des Korks sie aufhalten würde, wenn die Tiefe des Meers groß genug wäre, machte er einen Apparat von Messing, wie in Fig. 68, Taf. VII., worin p p ein starker hohler Cylinder ist, der 3 Zoll im Durchmesser und 2 Fuß Länge hat, und in allen Theilen vollkommen luft- und wasserdicht ist; q q ist ein Stempel oder abgedrehter Stab von etwa einem halben Zoll im Durchmesser, der sich in den Cylinder durch eine luft- und wasserdichte Schließbüchse r hineinbewegt, und s ein elastischer Ring, der sich auf dem Stabe q q bewegt, und Reibung genug hat, um an jeder Stelle desselben stehen zu bleiben; bei'm Gebrauch wird ein starkes Messinggehäuse mit einigen kleinen Oeffnungen, um Wasser zuzulassen, über den Stab q q geschraubt, um zu verhüten, daß er nicht berührt oder in Unordnung gebracht werde. Dieß Instrument ist also einer zugekorkten Flasche völlig gleich; denn den Cylinder p p kann man die Flasche nen-

nen, und den Stempel q q den Kork. Bei'm Gebrauch ist der Cylinder p p völlig mit Wasser gefüllt, was vorhin gekocht ist, um es luftfrei zu machen; dann wird der Stempel q q in seine Stelle gebracht, und der Ring s dicht auf die Schließbüchse r gedrückt, und der Schutzdeckel über q q und s geschroben. In diesem Zustande senkte es Perkins 500 Faden in das Atlantische Meer hinab, und da er es wieder heraufzog, befand sich Alles in der vorigen Lage, außer daß der Ring s acht Zoll über der Schlußbüchse stand, und somit anzeigte, daß der Stab q q in Folge der Compression des darin befindlichen Wassers so weit in den Cylinder getrieben gewesen war. Um dieses Experiment sicherer zu machen, wurde nachher derselbe Apparat in einen starken eisernen Kanonenlauf gebracht, dessen Höhlung darnach mit Wasser angefüllt wurde, und nachdem das Zündloch vernagelt und die Mündung durch eine starke Platte verschlossen war, ward durch eine sehr kleine Druckpumpe Wasser hineingedrückt, bis ein Visir an dem beschwerten Sicherheitsventil anzeigte, daß derselbe Druck wie oben stattfinde, nämlich wie von 500 Faden Wasser, und da der Apparat aufgemacht wurde, fand sich der Ring s abermals 8 Zoll in die Höhe gehoben. Dieser Versuch ist ganz neu, und noch nicht bekannt, allein Hr. Perkins hat die Güte gehabt, dem Verfasser das Resultat mitzutheilen, und geht damit um, weitere und genauere Versuche über diesen Gegenstand zu machen, weil, ehe man das Wasser eine elastische Flüssigkeit nennen kann, es nöthig ist, gewiß zu seyn, daß es gar keine Luft mehr enthalte, und es bei verschiedenen Temperaturen untersuchen muß, besonders bei 40° Fahrenheit, bei der das Wasser am dichtesten zu seyn scheint, indem es sich bei Wärme und Kälte über dieser Temperatur in seinem Umfange ausdehnt.

Die tropfbaren Flüssigkeiten haben Gewicht und gravitiren gegen die Erde, im Verhältniß zu ihrer Dichtigkeit,

wie die festen Körper; aus Mangel an Cohäsion zwischen ihren Theilen sind sie nicht im Stande, eine besondere Form und Gestalt anzunehmen und zu behalten, ohne daß sie darin unterstützt und gehalten werden, und mithin nehmen sie immer die Gestalt des Gefäßes an, worin sie enthalten sind. Auch äußern sie, vermöge ihrer Neigung zum Fallen, eine gewisse Kraft gegen die Wandungen des Gefäßes, worin ihr Seitendruck besteht; denn Flüssigkeiten drücken nicht nur mit ihrem ganzen Gewicht nach dem Gesetze der Schwerkraft nach unten, sondern sie drücken aus eben der Ursache zu gleicher Zeit in allen Richtungen seitwärts, und mithin kann keine Flüssigkeit im Zustande eines ruhigen Gleichgewichts bleiben; es sey denn, daß jeder Theil ihrer Oberfläche vom Centrum der Erde gleich entfernt, oder wie man es gemeinlich nennt, in einer horizontalen Fläche sey, wiewohl diese anscheinende Ebene keine wahre Ebene ist, sondern an der Rundung der Erde Theil nimmt (S. 24). Eben daher, daß Flüssigkeiten sich in's Gleichgewicht setzen wollen, kömmt es, daß sie immer aus einer höhern Stelle in eine niedrigere laufen.

Um die Weise zu erklären, auf welche die Oberflächen der Flüssigkeiten horizontal werden, kann man sehr gut annehmen, daß ihre Theilchen so auf einander liegen, daß sie Säulen bilden, wie in Fig. 69, und angenommen, daß alle Theilchen einerlei Größe und Gewicht haben, so werden die sechs an der einen Seite, die sechs an der andern genau balançiren (wobei die Säulen von dem Boden des Gefäßes, worin sie sind, getragen werden), und die obersten Theile derselben sich in einer horizontalen Linie befinden: wenn man nun annimmt, daß die zwei obern Theilchen der einen Säule t und v weggenommen sind, so hört das Gleichgewicht auf, denn jetzt sind sechs Theilchen in einer Säule, und in der andern

nur vier, um gegen jene zu drücken und Widerstand zu leisten, wovon die Folge ist, daß die längste Säule sinkt, und das Theilchen u in die Stelle von w fällt, indeß x in v hinauftritt, und so kommen x und u in dieselbe Horizontallinie, wodurch das Gleichgewicht wiederhergestellt wird. Man nimmt an, daß jedes Gefäß mit einer unendlichen Anzahl solcher Säulen gefüllt ist, wiewohl in der Figur nur zwei, der Deutlichkeit wegen, angegeben sind. Die Ursache, daß Körper auf Flüssigkeiten schwimmen, oder in ihnen untersinken, kann nach denselben Grundsätzen erklärt werden; denn wenn ein fester Körper in einen flüssigen getaucht wird, so rückt er einen Theil Wasser aus seiner Stelle, und macht folglich die Säulen der Theilchen unterhalb kürzer, und mithin leichter, als die umgebenden. Man darf also nur annehmen, daß die beiden Theilchen t und v in der letzten Figur einen Körper vorstellen, der zum Theil in's Wasser getaucht ist, und an seiner Oberfläche schwimmt; die Säulen unter diesem Körper werden kürzer seyn, als die umgebenden, aber das Gewicht des Körpers wird ein Gegengewicht gegen die größere Länge der umgebenden Säulen, und muß in jedem Falle der aus der Stelle gerückten Wassermenge genau gleichkommen, weil er sonst nicht schwimmen kann; denn alle Körper, die so schwer sind, daß ihr kleiner Umfang es nicht gestattet, so viel Wasser aus der Stelle zu rücken, als ihrem eigenen Gewichte gleichkömmt, müssen unvermeidlich sinken, mithin alle Dinge, die leichter als ihr Volum von Wasser sind, schwimmen, und die schwerer sind, untersinken, außer wenn sie in ein Boot, oder ein hohles Gefäß gebracht werden, welches durch seinen Umfang eine größere Menge Wasser aus der Stelle zu rücken gestattet, als ihrem Gesammtgewichte gleichkömmt, dann werden sie schwimmen. Ein Schiff von 500 Tonnen muß also

über 500 Tonnen Gewicht aus dem Bette oder der Höhlung, die es bis zu seiner Wasserlinie macht, fortdrängen, und auf diese Weise wird der Tonnengehalt der Schiffe geschätzt.

Die Wahrheit dieses Satzes ist dadurch sehr genügend bewiesen, wenn man das Modell eines Schiffes oder eines andern schwimmfähigen Körpers in eine Wagschaale legt, und es genau mit Wasser in der andern Schaale balancirt. Dann nimmt man den schwimmenden Körper herunter, und setzt ihn in ein ganz mit Wasser gefülltes Gefäß, da denn ein Theil des Wassers überfließt, und wenn man den schwimmenden Körper wieder herausnimmt, so findet man einen wasserleeren Raum, der durch das Wasser in der Wagschaale genau wieder ausgefüllt wird, welches dasselbe Gewicht wie der schwimmende Körper hat.

Das angeführte Gleichgewicht zwischen den Wassersäulen kann man genügend erläutern, wenn man eine Blase schlaff über das Ende eines großen offenen Lampenglases, oder über einen andern an beiden Enden offenen Cylinder bindet, da denn bei'm Anfüllen desselben bis etwas über der Blase sie durch das Gewicht des Wassers niedergedrückt wird, und es bleibt, selbst wenn der Apparat in's Wasser getaucht wird, bis durch das Untertauchen das Wasser in und außer dem Glase in eine Ebene zu stehen kömmt; sobald dieß der Fall ist, tritt ein Gleichgewicht des Drucks des innern und äußern Wassers ein, und die Blase wird ganz schlaff, und zeigt somit, daß sie weder von oben, noch unten gedrückt werde. Drückt man das Glas ein wenig tiefer in's Wasser, so werden die äußersten Säulen die längsten, und mithin die stärksten, und die Blase wird also in diesem Falle so stark aufwärts in's Glas getrieben, als sie zuvor nach unten gedrückt wurde.

Der Versuch kann dadurch abgeändert werden, daß man

einen ähnlichen Glascylinder und verschiedene Metallplatten, die am Unterende desselben angebracht sind, wie in Fig. 70., dazu gebraucht; aber dann muß der Boden des Cylinders y geschliffen seyn, so daß er an die Metallscheibe z wasserdicht anschließt. Diese Scheibe muß im Anfange gegen den Boden des Cylinders durch eine Schnur a in die Höhe gehalten werden, die so lange gespannt bleiben muß, bis die Scheibe rücksichtlich ihrer Dicke um so viel tiefer in's Wasser gebracht ist, als das Metall, woraus die Scheibe besteht, schwerer als Wasser ist. So hält Messing etwa 8 Mal, und Blei etwa $11\frac{1}{2}$ Mal das Gewicht seines eigenen Volums von Wasser; wenn also die Platte z von Messing und einen halben Zoll dick ist, so wird sie gerade balancirt, wenn sie 4 Zoll tief in's Wasser gelassen ist, oder um das Achtfache ihrer eigenen Dicke, und wenn man den Cylinder etwas weiter nach unten drückt, so kann man die Schnur loslassen ohne einige Gefahr, daß die Platte falle. Die Bleiplatte erfordert aus demselben Grunde um mehr als das $11\frac{1}{2}$fache ihrer eigenen Dicke niedergelassen zu werden, ehe sie gehalten wird. Bei diesem Experiment wird vorausgesetzt, daß kein Wasser in dem Cylinder y sey, sollte aber etwas hineinkommen, so muß sein Gewicht abgerechnet werden; der Druck ist also ganz von außen, indem nichts da ist, was auf den Obertheil der Platte wirken kann, als die im Glase enthaltene Luft, der jedoch durch die auf das Wasser drükkende genau das Gleichgewicht gehalten wird, und die Platten werden durch die Wirkung der aufwärts drückenden Säulen allein gehalten. Sind diese Säulen weg, so ist keine Kraft da, selbst einen leichten Körper zu halten, und folglich kann man machen, daß Substanzen, die viel leichter als Wasser sind, unter seiner Oberfläche bleiben. Wenn daher eine Scheibe von Blei und eine andere von Kork oder leichtem Holz

mit ihren Flächen so genau auf einander liegen, daß kein Wasser zwischen sie kommen kann, und beide Körper auf den Boden eines gläsernen Krugs gebracht werden, der leichte nach oben, so kann man den Krug mit Wasser füllen und jener leichte Körper wird nicht steigen und schwimmen. Um dieß Experiment zu machen, ist es nöthig, den leichten Körper mit einem Stäbchen niederzuhalten, so daß er mit dem schwerern in vollkommener Berührung bleibt, während das Wasser eingegossen wird, denn wenn das Geringste von Wasser zwischen beide kömmt, so werden aufsteigende Säulen gebildet, und der schwimmende Körper wird emporgehoben.

Ungeachtet die obigen Versuche zu beweisen scheinen, daß der Druck der Flüssigkeiten eine Folge eines mechanischen Gleichgewichts ist, was von der Schwerkraft gleicher Quantitäten von Materie, die gegen einander wirken, abhängt, so findet man bei reiflicherer Untersuchung doch, daß dieser Druck durch die senkrechte Höhe bestimmt wird, und durch die Oberfläche, worauf gewirkt wird, ohne irgend eine Rücksicht auf Quantität oder absolute Schwere; denn, obgleich ein Pfund Wasser an sich keine größere Wirkung hervorbringen kann, als einem Pfunde zukömmt, so kann es doch, vermöge der Eigenschaften der Flüssigkeiten, in den Stand gesetzt werden, die Wirkung von mehrern hundert Pfunden hervorzubringen. Dieß nennt man sehr treffend das hydrostatische Paradoxon, und man kann es durch folgenden einfachen Apparat sehr gut darstellen. Fig. 71., bc, ist ein kleines Gefäß zum Wasserhalten, was dadurch gebildet ist, daß man eine starke Blase um zwei runde Stücke Holz bindet, wovon jedes drei Zoll im Durchmesser hat, und das obere an dem Brette dd befestigt ist. Unmittelbar über bc ist eine Glasröhre ef angeschraubt, die fast einen Zoll im Durchmesser, etwa einen

Fuß Höhe, und eine offene Communication in b c hat; am Bodenstück b ist ein Draht befestigt, der in der Röhre hinaufgeht, bis er an's Ende eines Wagbalkens oder Hebels g h befestigt ist; h ist ein Gewicht, was auf b wirkt, so daß es dieß aufzieht, oder in dichte Berührung mit c bringt, und so eingerichtet seyn muß, daß, wenn die Röhre und das Gefäß bis zu der Höhe f mit Wasser gefüllt sind, b eben niedersteigt und das Gewicht hebt. Wird jetzt das Gewicht h untersucht, so ist es nicht das wirkliche Gewicht des angewandten Wassers, sondern man findet, daß es dem einer Wassersäule von 3 Zoll im Durchmesser und der Höhe b f gleichkömmt. Nach diesem Versuche schraube man die Röhre e f los, und setze in ihre Stelle die große durch punctirte Linien angegebene Glasvase i i i i, da dann, trotz ihrer größern Dimensionen, und trotz dem, daß sie eine weit größere Menge Wasser enthält, sie keine größere Wirkung auf b haben wird, als die Röhre hatte; denn wenn das Wasser bis zu derselben Höhe in f kömmt, so wird es gerade das Gewicht h heben, und folglich keine größere Kraft ausüben, als wie bei der Röhre; denn so lange die Höhe und die Oberfläche von b, worauf gewirkt wird, dieselben bleiben, wird kein Unterschied durch die Anwendung verschiedener Quantitäten von Flüssigkeit entstehen, und wenn der Durchmesser der Röhre e f nicht einen Viertelzoll betrüge, so würde sie doch eine eben so starke Wirkung hervorbringen, als wie die größeste Vase i i, die man anwenden könnte. Der Grund dieser sonderbaren Erscheinung ist, daß im ersten Falle, obwohl die in e f enthaltene Säule von geringem Umfange ist, sie doch dadurch, daß sie Communication mit dem Wasser in b c hat, zurückkehrende Säulen hervorbringt, die aufwärts auf jeden Theil von c drücken, diese reagiren und treiben b nach unten mit derselben Wirkung, als wenn eine Säule

mit der vollen Basis b in Thätigkeit wäre; allein es kann keine größere Wirkung erfolgen, als sie der Fläche b gemäß ist, folglich kann, wenn die große Vase iiii angewandt wird, keine größere Wirkung erfolgen; denn es werden die nämlichen rückkehrenden Säulen gebildet, aber sie können nicht zahlreicher seyn, in so fern anfangs auf b völlig gewirkt wurde, und dieser Flächenraum keine größere Einwirkung zuläßt. Wenn also die Boden der zwei runden oder andern Kübel, k und l Fig. 72. denselben Durchmesser und dieselbe Grundfläche haben, während ihre Höhe gleich ist, werden dieselben mit derselben Kraft nach unten gedrückt, trotz dem großen Unterschiede in ihrem Inhalt; denn das Wasser in k gestaltet sich zu dem Cylinder, der durch die punctirten Linien in m m m m angegeben ist, während das in l den Cylinder n n n n bildet, die in beiden Fällen gleich sind, und alles Wasser in l, was zwischen dem Cylinder und den Wandungen des Gefäßes ist, wird gegen diese Wandungen drücken, und nicht gegen den Boden.

Dieß Princip kann man weiter durch den hydrostatischen Blasebalg erläutern und erklären, der in Fig. 73. abgebildet ist, und aus zwei starken runden Brettern o o und p p besteht, die durch das starke Leder q zusammen vereinigt sind, was um die zwei Bretter wie bei Blasebälgen genagelt und wasserdicht ist. Eine enge gebogene Röhre r, mit einem Trichter am Oberende, wird in das untere Brett p p gesteckt, so daß jede Flüssigkeit, die in den Trichter eingeführt wird, sich in den Raum q zwischen den Brettern begeben, und dieser also mit Luft oder Wasser gefüllt werden kann. Nimmt man nun an, daß die Röhre r etwa 4 Fuß hoch, und die Bretter o o, p p hinlänglich groß seyen (sie brauchen nicht über 18 Zoll im Durchmesser zu halten), wäh-

rend die Röhre x einen halben Zoll weit ist, so kann ein Mann auf dem Brett oo stehen, und wenn er in das Oberende der Röhre x bläs't, (wobei er die Lippen dicht ansetzen muß, damit die Luft nicht heraus weicht), so kann er das ganze Gewicht seines Körpers in die Höhe heben, ohne daß er eine sonderliche Anstrengung in seinen Backen fühlt; oder wenn Wasser in den Trichter gegossen wird, so erfolgt dieselbe Wirkung, ungeachtet die Röhre nicht mehr als ein halbes Pfund Wasser halten kann, und der Mensch über 150 Pfd. wiegt. Diese Wirkung kann paradox scheinen, aber sie hängt dennoch von den bereits erklärten Principen ab. Denn da alle gleichartigen Flüssigkeiten bis zu derselben Horizontallinie steigen, wenn sie nicht daran verhindert werden, so ist es klar, daß, wenn man eine Röhre, gleichviel von welcher Größe, in einen Theil des obern Brets oo einschraubt, wie in s in der Figur durch Punkte angegeben ist, das Wasser in der zweiten Röhre zu derselben Höhe steigen wird, als es in der Röhre x steht, und mithin die zwei Säulen in x und s sich einander balanciren werden. Doch ehe die Röhre s angebracht wurde, mußte eine Kraft daseyn, die das Oberbrett hob, die dem Gewicht des Wassers in der Röhre x gleichkommen würde, und da das Wasser gleichmäßig in den sämmtlichen Röhren, die man zu gleicher Zeit in allen Theilen von oo anbringen möchte, steigen würde, so muß eine gleiche Anzahl von Kräften in gleicher Zeit auf alle Theile des Oberbretts wirken. Nach den oben angenommenen Dimensionen des Instruments kann man über 500 Röhren wie h, deren jede einen halben Zoll im Durchmesser hat, oder x gleich ist, auf das Oberbrett oo setzen, und da angenommen ist, daß die Röhre x ein halbes Pfd. Wasser enthalte, so enthält jedwede von den 500 Röhren eine gleiche Menge, was zusammen 250 Pfd.

beträgt, die sämmtlich durch das Wasser in r zu derselben Linie würden gehoben werden. Da nun diese angenommenen Röhren nicht vorhanden sind, so wird das Brett o o mit einer Kraft, die dem Gewicht des Wassers, was diese Röhren enthalten würden, gleich kömmt, emporgedrückt, und folglich kann ein halbes Pfund Wasser in der Röhre r 250 Pfd. heben, die auf das Brett o o gesetzt werden. Die Kraft dieser Maschine mittelt man aus, wenn man aufsucht, wie viel Mal die Grundfläche der Röhre r in der Grundfläche des beweglichen Bretts o o enthalten ist, und dieses letzte Quantum mit dem Gewichte des Wassers in r multiplicirt; und da Flüssigkeiten im Verhältniß zu ihrer senkrechten Höhe drücken, ohne Rücksicht auf ihre Menge, so kann man eine fast unbegränzte Kraft schaffen, wenn man die Weite von r vermindert und seine Höhe und die Area des beweglichen Brettes o o ausdehnt.

Es ist zu verwundern, daß eine so ausgedehnte Kraft und die so leicht zu gewinnen ist, nicht schon lange Zeit zu nützlichen Zwecken angewandt ist. Diese Anwendung machte Pascal in der Mitte des 17. Jahrhunderts allerdings bemerklich, allein wegen der Schwierigkeit, eine sehr hohe Wassersäule in Röhren zu erhalten, oder aus sonst einer Ursache, wurde es nie ausgeführt, bis der verstorbene scharfsinnige Joseph Bramah die Idee wieder aufregte, der sie bei der Einrichtung seiner trefflichen und wohlbekannten hydraulischen Presse benutzte, die jetzt in fast allen Fällen gebraucht wird, wo ein großer Druck erforderlich ist. Statt des Blasebalgs, eines Theils des Apparats, der einen sehr großen Druck nicht aushalten würde, gebrauchte er einen starken metallenen Cylinder, worin ein Stämpel sich vollkommen luft- und wasserdicht bewegte, indem er durch Futter von Leder ging, und anstatt der hohen Wassersäule wandte er eine kleine Druckpumpe an, worauf

man einen beliebigen Grad von Kraft wirken lassen kann; und so wird die drückende Säule unbeschränkt lang, wiewohl der ganze Apparat sehr zusammengedrängt ist, und nur einen kleinen Raum einnimmt. Fig. 74. ist der Durchschnitt einer dieser Pressen, worin t der Kolben des großen Cylinders ist, welcher aus einem massiven Stück Metall gebildet ist, das ganz genau cylindrisch gedreht ist, und auf dem das untere Brett der Presse v befestigt ist: u ist der Kolben der kleinen Druckpumpe, der gleichfalls ein Cylinder von massivem Metall ist, und sich durch den Griff oder Hebel w auf und nieder bewegt; der ganze Untertheil der Presse steht oft in einem Behältniß x x, was wie in y mehr als hinlängliches Wasser enthält, um beide Cylinder zu füllen, und die Saugröhre der Druckpumpe u, die in dieß Wasser taucht, wird fortwährend versorgt. Wenn also der Griff w aufwärts bewegt wird, so steigt das Wasser durch die konische Metallklappe z, die sich aufwärts in den Boden der Pumpe u öffnet, und wenn der Griff niedergedrückt wird, so wird dieß Wasser durch eine andere ähnliche Klappe a getrieben, die sich in entgegengesetzter Richtung in die Communicationsröhre zwischen der Pumpe und dem großen Cylinder b öffnet, der jetzt das Wasser aufnimmt, wodurch der Kolben t bei jedem Zuge der Pumpe u gehoben wird. Eine andere kleine konische Klappe c ist vermittelst einer Schraube an der Mündung am Untertheil des großen Cylinders angebracht, deren Nutzen ist, den Druck, wenn es nöthig ist, aufhören zu lassen; denn, wird diese Klappe geöffnet, so läuft alles Wasser, was vorhin im großen Cylinder b enthalten war, in den Behälter y durch die Oeffnung d, und der Kolben t geht hinunter, so daß dasselbe Wasser mehrmals wieder benutzt werden kann. Die Kraft einer solchen Maschine ist ungeheuer groß, denn wenn man annimmt, daß die Hand

nur mit einer Kraft von 10 Pfd. an's Ende des Griffs w angebracht wird, und daß dieser Griff oder Hebel so eingerichtet ist, daß er diese Kraft nur fünfmal vervielfältigt (vergl. oben den Hebel), dann ist die Kraft, womit der Kolben u niedergeht, gleich 50 Pfd.: und wenn wir nun annehmen, daß die Größe des Kolbens t so ist, daß die Grundfläche seines Horizontaldurchschnitts eine ähnliche Grundfläche des kleinern Kolbens u funfzigmal enthält, dann giebt 50 mit 50 multiplicirt 2500 Pfd. für die Kraft, womit der Stämpel t und das Druckbret v steigen. Ein Mensch kann diese Kraft eine kurze Zeit zehnfach anwenden, und könnte also 25000 Pfd heben, und noch mehr, wenn ein größeres Unterschiedsverhältniß zwischen den zwei Kolben t und u existirte, und der Hebel w die Anwendung seiner Stärke noch mehr begünstigte.

Diese Maschine wirkt nicht nur als eine Presse, sondern ist zu mehrern andern nützlichen Zwecken anwendbar, z. B. zum Hebzeug für schwere Lasten, oder selbst Gebäude, Bäume mit den Wurzeln, oder Brückenpfähle auszuziehen: und bis Perkins's seine oberwähnten Versuche anstellte, hielt man diese Maschine für den deutlichsten Beweis der völligen Unzusammendrückbarkeit des Wassers. Es scheint indeß nicht, daß irgend genaue Versuche jemals gemacht sind, um auszumitteln, ob das Steigen des Kolbens t im genauen Verhältniß zu der Menge des eingepumpten Wassers stand. Wahrscheinlich ist dieß nicht der Fall, und das Wasser erleidet eine geringe Compression, wiewohl seine Elasticität so klein ist, daß sie bis jetzt unbemerkt geblieben ist, da sie kein practisches oder selbst merkliches Hinderniß macht.

Aus der Natur der Flüssigkeit folgt, daß der Druck der flüssigen von dem der festen Körper sehr verschieden seyn muß, denn die letzten können bloß niederwärts drük-

ken im Verhältniß zur Menge ihrer Materie, indeß die ersten nicht nur der Schwerkraft unterworfen sind, sondern aus Mangel an Zusammenhang zugleich seitwärts drücken, während sie nach unten drücken. So drückt ein Kubikfuß Wasser durch seine Schwerkraft gegen den Boden des Gefäßes, worin es ist, mit einer Kraft von 1000 Unzen; allein in derselben Zeit, da es diese Kraft äußert, drückt es auch gegen die vier Seiten des Gefäßes mit einer Kraft, die dem Doppelten der gegen den Boden drückenden Kraft gleichkömmt, oder mit 2000 Unzen, so daß seine ganze, um das Gefäß zu sprengen thätige Kraft, 3000 Unzen betragen wird.

Der bereits beschriebene hydrostatische Blasebalg giebt einen Beweis, daß man bei Abschätzung des Drucks einer Flüssigkeit nicht sowohl ihre angewandte Menge, als vielmehr ihre Perpendikularhöhe und die Grundfläche, auf die sie wirkt, berücksichtigen müsse; denn wegen dem Mangel von Cohäsion zwischen den Theilchen, welche die Flüssigkeit bilden, können diese Theilchen, obgleich stillstehend, doch als eben so viele Theile, die in Bewegung sind, oder anfangen sich zu bewegen, betrachtet werden, und mithin ist der senkrechte Druck der Flüssigkeiten denselben Gesetzen unterworfen, nach denen die festen Körper fallen, d. i. er wird zunehmen wie die Quadratwurzel der Höhe der Säule. Dieß kann man auf zweierlei Art beweisen: erstlich durch Untersuchung des Drucks, den eine Säule bei verschiedenen Höhen macht, und zweitens dadurch, daß man die Wassermasse sammelt und mißt, die durch Oeffnungen ausfließt, welche genau dieselbe Größe haben, aber an verschiedenen Theilen einer senkrechten Säule befindlich sind.

Die in Fig. 75 dargestellte Maschine besteht aus zwei parallelen Glasscheiben e, die der Rahmen fff hält, an dessen einer Seite nach unten ein Loch g ist, was die

Klappe h schließt, die sich nach außen vermittelst der Angel i öffnet. Diese Klappe wird durch eine Schnur k dicht auf das Loch gezogen, die über die Rolle l geht, und an einer Waagschaale m, die zum Aufnehmen von Gewichten bestimmt ist, befestigt. Wenn nun irgend ein Gewicht, z. B. 2 Unzen, in die Schaale gelegt wird, so kann man eine gewisse Menge Wasser zwischen die Glasscheiben gießen, ehe sich die Klappe öffnet, aber sobald das Wasser hoch genug steht, um das Gewicht zu bezwingen, so wird dieses steigen, und ein Theil von jenem ausgeleert. Man kann durch Beobachtung oder Berechnung die Höhe ausmitteln, in der das Wasser das Gewicht bezwingt, und diesen Punct merke man sich auf dem Rahmen an, wie in 1. Dann mißt man die Distanz von dem Boden mit einem Zirkel, und sticht sie nach oben auf den Rahmen ab, wie in 2, 3, 4, und erhält nun andere Puncte, die gleichweit von einander entfernt sind; und sobald das Wasser, wenn es bis zu t gefüllt ist, irgend ein gegebenes Gewicht hebt, so wird es, wenn es in 2, oder zweimal so hoch steht, das vierfache Gewicht, wenn es in 3, oder dreimal so hoch steht, das neunfache Gewicht, wenn es in 4 ist, das sechzehnfache Gewicht heben, und so fort; und sonach erhellt, wie nöthig es sey, den untern Theilen von Cisternen oder großen Gefäßen zu Flüssigkeiten eine größere Stärke zu geben, um sie in den Stand zu setzen, diesen Seitendruck auszuhalten, der nicht wie die Menge der Flüssigkeit zunimmt, sondern wie das Quadrat ihrer senkrechten Höhe.

Das Rinnen oder Ausfließen der Flüssigkeiten aus den Seiten der Gefäße entsteht gleichfalls vom Seitendruck, und ist folglich von der Höhe der Säule abhängig, ohne Rücksicht auf die kubische Menge: folglich wenn irgend eine Menge Wasser aus einem Loche eines Fasses

oder Behälters in einer bestimmten Zeit fließt, so wird diese Menge gedoppelt aus einem andern Loche fließen, was genau eben so weit ist, wenn es viermal so tief wie das erste unter der Oberfläche der Flüssigkeit ist, und ein ähnliches Loch neunmal so tief, wird dreimal so viel Flüssigkeit ausleeren, was man leicht ausmitteln kann, wenn man Wasser aus Oeffnungen, die so in Gefäßen liegen, auffängt, und die respectiven Quantitäten, die in gleicher Zeit ausflossen, mißt. Die Ausleerung verhält sich also wie die Quadratwurzel der Tiefe unter der Oberfläche, ein Gesetz, was äußerst wichtig bei dem Bau und der Einrichtung von Wasserwerken ist, die Häuser oder Städte mit Wasser zu häuslichen oder andern Zwecken versorgen sollen, und was, wenn es vernachlässigt wird, eine große Kraftverschwendung veranlassen kann; denn diese Werke bestehen meist aus Pumpen oder andern Maschinen, wodurch das Wasser aus Brunnen oder tiefliegenden Flüssen in Behälter gehoben wird, die über der zu versorgenden Stelle liegen; oder sie enthalten verdichtete Luft, die durch ihre Elasticität wirkt, und dann heißen sie Luftkessel (vergleiche diesen Behälter in Verbindung mit der Pumpe im folgenden Abschnitt). Aus diesen Behältern wird das Wasser wieder durch Röhren niedergeleitet, die in der Erde liegen, und aus diesen wieder durch kleinere Röhren in die Häuser. Der wesentliche Unterschied in der Construction von Wasserleitungen besteht indeß in der Anwendung eines offenen hochliegenden Behälters, oder eines Luftkessels (Drückers). Durch den ersten kann man keine Wasserversorgung bewerkstelligen, deren Ausfluß höher liegt als der Behälter, weil die Wirkung eines so eingerichteten Werks ganz darauf beruht, daß gleichartige Flüssigkeiten sich von selbst in dieselbe horizontale Ebene setzen wird; wenn aber ein Luftkessel angewandt wird, so kann man Was-

ser zu jeder erforderlichen Höhe heben, so weit es die Stärke und Kraft der Maschine gestattet, da die Luft in einem unbegränzten Grade elastisch und verdichtbar zu seyn scheint. Der Luftkessel hat auch den bedeutenden Vortheil (besonders, wenn man die Kraft des Dampfes zum Wasserheben in Anwendung bringt), daß vermittelst seiner die Kraft immer regulirt werden kann, je nach der senkrechten Höhe, die zu versorgen ist, oder mit andern Worten, daß man die Quantität der wirkenden Kraft stets vermindern kann, so wie die Höhe der Säule sich vermindert; während ein offener Behälter über der größten Höhe, die zu versorgen ist, stehen muß, und all das Wasser, selbst für die niedrigste Leitung, mit einem sehr großen Kraft- und Kostenaufwand hineingetrieben werden muß, um wieder niederzusteigen.

Die alte Methode, Städte mit Wasser zu versorgen, geschah mittelst Wasserleitungen, oder Brücken, die über Thäler gebaut waren, und entweder Röhren oder einen offenen Leiter oder Kanal hielten. Diese ungeheuren und kostspieligen Baue, deren Ueberbleibsel man bei den Ruinen einiger alten Städte findet, und die in der Nachbarschaft von Paris und Lissabon noch am vollkommensten erhalten vorhanden sind, verdankten ihre Entstehung nicht der Unbekanntschaft mit dem Steigen der Flüssigkeiten zu einem gemeinschaftlichen Niveau, sondern wahrscheinlich der practischen Schwierigkeit, eine lange Reihe von Röhren auf eine solche Weise zu verbinden, daß sie gegen den Druck einer schweren Wassersäule vollkommen wasserdicht bleiben, was keineswegs leicht ist, selbst bei unsern gegenwärtigen Fortschritten und bei allen den Vortheilen des Gußeisens und anderer passender Materialien statt Stein oder irden Gut, welche letztre hauptsächlich zu den Röhren der ältern Wasserleitungen genommen zu seyn scheinen.

Die New-River-Wasserleitungen, die von so ungeheurer Wichtigkeit für die Bequemlichkeit und Gesundheit der großen Hauptstadt von England sind, sind eine Art von Aquäduct, der alle die mancherlei Einrichtungen der Wasserwerke in sich vereinigt. Der Quell, der sie versorgt, springt zu Ware in Hertfordshire, und sein Wasser wird in einen künstlichen Kanal geleitet, der bloß zu seiner Fortleitung gebildet und zuweilen durch Bögen und Dämme sehr beträchtlich über die natürliche Bodenfläche erhoben ist, und dann sich wieder tief herabsenkt, Seine Länge beträgt über 38 Meilen. Endlich endet er sich in den offenen Behälter, der New River Head heißt, zu Islington, der hoch genug liegt, um die niedrigern Theile der Stadt, durch den natürlichen Abfluß in die Röhren zu versorgen. Um das Uebrige zu thun, ist eine starke Dampfmaschine an den Behälter gesetzt, um Pumpen in Bewegung zu setzen, die das Wasser zum Theil in noch höher liegende Behältnisse zu Pentonville Hill und Hampstead Road treiben, und was diese nicht leisten können, wird durch einen Luftkessel bewirkt, welcher mit den Pumpen der Dampfmaschine verbunden ist, so daß der größte Theil von London, ohne allen andern Kraftaufwand, als die natürliche Gravitation des Wassers, und das Uebrige durch die wohlgeleitete Kraft einer Dampfmaschine versorgt wird, deren Beschaffenheit am Schlusse des nächsten Abschnitts erklärt werden wird.

Was über die Wasserwerke gesagt ist, paßt gleichermaßen auf Fontänen, denn ein Springbrunnen kann nur durch die Bemühung des Wassers, in seine horizontale Fläche zu steigen, hervorgebracht werden, oder dadurch, daß es unter der Einwirkung von verdichteter Luft oder einer andern Kraft steht. Wenn man daher eine hochliegende Cisterne oder Behältniß immer mit Wasser versor-

gen läßt, und unten eine Röhre anbringt, die sich in eine kleine, nach oben stehende Oeffnung endigt, so springt das Wasser heraus, und bildet einen Strahl, der beinahe eben so hoch ist, wie die Oberfläche des Wassers im Behälter ist; weil aber die Stütze fehlt, die die Flüssigkeit von Seiten der Wandungen einer Röhre, oder dichten Gefäßes erhält, und weil sie sich in beständiger und schneller Bewegung durch die widerstrebende Luft befindet, so erreicht sie nie dieselbe Höhe oder Horizontallinie, wie die versorgende Säule, besonders, wenn sie durch eine lange Reihe von Röhren geleitet wird, die durch ihre Reibung die Strömung des Wassers beträchtlich hindern. (Vergl. Reibung der Wasserröhren in der Hydraulik).

Die Art und Weise, durch verdichtete Luft Springbrunnen hervorzubringen, hängt ganz von Modificationen der oben erklärten Principe ab, wie weiterhin bemerkt werden wird; aber ihre Einrichtung gestattet manche sinnreiche und belustigende Abänderungen, zu deren vorzüglichsten man den sogenannten Heronsbrunnen, und den Commandobrunnen rechnet, welche beide einen parodoxen Anschein haben, indem der erste das Wasser über seine natürliche Richtfläche zu heben, indeß der andere dem Befehl des Menschen, der ihn anwendet, zu gehorchen scheint.

Fig. 76. ist der Heronsbrunnen im Durchschnitt, den man entweder von Zinn, Kupfer oder Glas machen kann. Er besteht aus zwei luftdichten Kasten n und o, die durch die beiden offenen Röhren p und q mit einander verbunden sind. Oben auf dem Oberkasten n ist ein Becken r gebildet, um das Wasser aufzufangen, welches aus dem Wasserstrahl s in die Höhe getrieben wird. Die Röhre p öffnet sich in das Becken in r, und geht durch den Oberkasten n, ohne eine Communication damit zu

haben; indeß die Röhre q sich am obern Theil des Unterkastens o öffnet, und indem sie durch den Boden des Unterkastens n fortgeht, nahe unter dem Becken endigt. Das Mundstück geht durch den Boden des Beckens, und endigt sich sehr nahe am Boden des Oberkastens n, der mit Wasser gefüllt werden muß, indem man die Springröhre oben aufschraubt, wenn die Maschine gebraucht werden soll. Wird nun das Becken r plötzlich mit Wasser gefüllt, so treibt sogleich ein Strahl aus s, und steigt zu einer Höhe, die fast ganz der Länge der Röhre q gleicht, wie lang diese auch sey, und es hat den Anschein als ob das Wasser im Becken über sein gemeinschaftliches Niveau gehoben werden. Dieses Instrument ist indeß weiter nichts, als eine Luftfontäne, wie die bereits beschriebene nur in verschiedener Form (S. 136). Denn das Wasser, was in das Becken gegossen wird, läuft durch die Röhre p in den Unterkasten o nieder, der vorhin mit Luft angefüllt ist, welche nun durch den Druck der Wassersäule in p verdichtet wird, und da sie durch die Röhre q eine ununterbrochene Verbindung mit der Luft über der Oberfläche des Wassers hat, was zuvor in den Oberkasten n gebracht ist, so wird dieses Wasser durch die Thätigkeit der so verdichteten Luft in dem Mundstücke s hinaufgetrieben.

Diese Maschine ist zwar in der oben beschriebenen Form ein bloßes Spielwerk, aber kann zu mehrern Zwekken nützlich angewandt werden, und ist die Grundlage der Maschine, die man zu Chemnitz in Ungarn zum Abziehen des Weins gebraucht, die in Dr. Gregory's Mechanics Vol. II. p. 221. näher beschrieben ist.

Der Commando Brunnen ist in Fig. 77. abgebildet, und hängt vom atmosphärischen Drucke ab; t ist ein

Wasserbehälter, der oben luftdicht seyn muß. Er steht auf einem Träger v, der eine weite offene Röhre ist, und sehr hoch in t hinauftritt. Mehrere kleine Springröhren sind in den Boden des Gefäßes t gekittet, und das Ganze steht über einem Becken w, das das Wasser auffängt: in dem Boden des Beckens ist eine Oeffnung, die so groß ist, daß ihr Kaliber weniger, als die Summe der Weite aller Springröhren u, u, u, u, beträgt, wodurch hervorgebracht wird, daß diese schneller das Wasser in das Bekken w ergießen, als es aus der Oeffnung x abfließen kann. Das Becken wird also bald durch diese Anhäufung gefüllt, und ehe dieß geschieht, kömmt das Unterende der Röhre v unter das Wasser zu stehen, wodurch die Luft gehindert wird, in der Röhre v hinaufzugehen, und alle Röhren aufhören zu spielen. Mittlerweile sich das Bekken durch die Oeffnung x ausleert, und das Unterende von v bald frei wird, strömt eine Quantität Luft in v hinauf, und läßt die Springröhren wieder spielen, bis durch neue Anhäufung im Becken der Luftzug neuerdings verschlossen wird. Wenn Jemand auf das successive Steigen und Fallen des Wassers im Becken achtet, so sieht er, ob sich die Röhre v öffnen oder schließen wird, und kann sich so den Anschein geben, als ob nach seinem Befehl die Fontäne spiele oder stillstehe, ohne daß er sie berührt, oder mit ihr in Verbindung steht Um das Gefäß t zu füllen, muß es losgemacht, und umgekehrt werden, und das Wasser wird durch die Röhre v eingegossen. Das Wasser im Gefäße wird durch atmosphärischen Druck gehalten, wenn der Untertheil dieser Röhre geschlossen ist.

Man schraubt an die Springröhren aller der verschiedenen Fontänen auf mancherlei Art geformte Mundstücke, und so bewirkt man, daß das Wasser in einem einzelnen Strom ausfließt, oder in jeder Anzahl von Strö-

men, in verschiedenen Richtungen, oder fächerförmig, oder breit, je, wie man Vergnügen findet.

Es ist bereits gezeigt (S. 166.), daß die Ursache des Schwimmens der Körper auf Flüssigkeiten auf einer mechanischen Balance beruht, die zwischen ihnen und der Flüssigkeit, worauf sie schwimmen, hervorgebracht ist; denn kein fester Körper kann schwimmen, ohne auf eine gewisse Tiefe in die Flüssigkeit, die ihn hält, zu sinken; und folglich muß eine gewisse Menge dieser Flüssigkeit aus der Stelle gerückt werden, und diese Menge kömmt in allen Fällen an Gewicht dem Gewicht des so gehaltenen Körpers gleich. Ein Boot, z. B., was auf Seewasser schwimmt, sinkt bis zu einer gewissen Tiefe hinein; aber wenn dasselbe Boot einen Fluß hinaufsteuert, und von süßem Wasser getragen wird, so sinkt es tiefer, weil Seewasser dichter und schwerer als Flußwasser ist, und folglich muß von dem letztern eine größere Menge als von dem erstern aus der Stelle gerückt werden, um dem Gewicht des Boots gleichzukommen; und wenn folglich ein Körper so schwer ist, daß das Eintauchen seiner ganzen Masse nicht so viel Flüssigkeit aus der Stelle rücken kann, wie seinem Gewicht gleichkömmt, so kann kein Gleichgewicht statt finden, sondern der Körper wird überwiegen, und muß sinken. Dennoch aber, obgleich der so sinkende Körper nicht so viel Flüssigkeit aus der Stelle rücken kann, als seinem Gewichte gleichkömmt, rückt er soviel aus der Stelle, wie seiner Größe gleicht, und sein Gewicht, oder seine Kraft zu sinken wird daher durch eine Kraft vermindert, die dem Gewichte der wirklichen Quantität der so aus der Stelle gerückten Flüssigkeit gleichkömmt. Hierauf gründet sich ein äußerst wichtiger hydrostotischer Grundsatz: daß jeder Körper, der schwerer ist als sein eigener cubischer Inhalt des Wassers, worin er ge-

taucht ist, gerade soviel von seinem Gewicht verliert, als dem Gewicht des Volums dieser Flüssigkeit gleichkömmt: und von diesem Grundsatz hängt die Methode, das specifische Gewicht der Körper zu erhalten, großentheils ab.

Schon das Wesen des Schwimmens beweis't die Wahrheit dieses Satzes, aber man kann ihn auf folgende Weise durch Experimente und zwar mittelst der hydrostatischen Waage erläutern, die weiter nichts ist, als ein Paar gute kleine Waagschaalen, unter denen Haken sitzen, um etwas daran zu hängen, und die nebst dem Waagbalken so hoch aufgehängt sind, daß man gläserne Krüge unter sie setzen kann, die das Wasser, worin die Körper gewogen werden sollen, enthalten. Fig. 78. Taf. VIII. zeigt eine so eingerichtete Waage, deren Gebrauch nachher erklärt werden wird.

Wenn nun ein massiver Cylinder oder Kegel von Metall y genau in das Innere eines gleichgestalteten Gefäßes z paßt, so ist z ein Maaß des cubischen Inhalts von y, und wenn y unten an z gehakt wird, und z unten an eine der Waagschaalen, so daß sich das Ganze frei in dem leeren Glaskruge a bewegen kann, so kann man Gewichte in die entgegengesetzte Waagschaale b bringen, bis ein Gleichgewicht erfolgt. Sobald man aber den Krug a mit Wasser füllt, so wird der feste Körper y emporgehoben, und scheint viel von seinem Gewichte zu verlieren, trotz seiner Dichtigkeit, vermöge deren er in dem Wasser sinken würde, wenn ihn nicht die Gegengewichte in b hielten. Das Gleichgewicht wird indeß sogleich hergestellt, wenn man das hohle Gefäß z mit Wasser füllt, welches beweis't, daß der Verlust an Gewicht, den y bei'm Eintauchen erlitt, genau so viel beträgt als sein eigener kubischer Inhalt an Wasser, indem sonst das Anfüllen von z,

was denselben kubischen Inhalt hat wie y, das Gleichgewicht nicht hergestellt haben könnte. Das Material, woraus das massive y besteht, macht keinen Unterschied in dem Versuche, denn bestände es aus Zink, was das leichteste Metall ist, oder aus Platina, die das schwerste ist, so könnte es doch in keinem Falle mehr Wasser aus der Stelle rücken, als seinem eigenen Umfang gleichkäme, und folglich würde jede Substanz von einerlei Umfang, die schwer genug wäre, um zu sinken, dieselbe anscheinende Verminderung an Gewicht bei'm Untertauchen erleiden.

Dieser bedeutende Umstand bietet das möglichst einfache Mittel dar, das specifische Gewicht der schweren massiven Körper zu erhalten, und da man die Identität der Substanzen in vielen Fällen nur durch ihre specifische Schwere ausmitteln kann, so ist die Bestimmung desselben höchst wichtig nicht nur in wissenschaftlicher, sondern auch in kaufmännischer Rücksicht.

Das bloße Wägen eines Körpers in einer Waage in freier Luft, wie es gewöhnlich geschieht, giebt das einfache Gewicht oder die Schwerkraft des gewogenen Körpers, ohne Rücksicht auf seine Dichtigkeit, oder die mechanische Lage seiner Bestandtheile; denn ein Pfund Kork gravitirt eben so stark als ein Pfund Blei, aber der Umfang des Korks ist viel größer als der des Bleies; und folglich wenn zwei gleiche große Stücken von Kork und Blei gegen einander abgewogen würden, würde das Blei eine viel größere eigenthümliche Schwerkraft äußern, als der Kork besitzt. Die specifische Schwere eines Körpers ist bloß eine Vergleichung seiner Schwerkraft gegen die irgend eines andern Körpers, die vorhin ausgemittelt ist, und folglich sollte das Material, was man zu diesem Vergleiche nimmt, ein solches seyn, was so wenig als möglich in sich selbst veränderlich wäre. Reines Regen- oder destillirtes Wasser ist durch

eine langzeitige Erfahrung als das paßlichste Material zu diesem Zwecke befunden, weil es bei gewöhnlichen Temperaturen der Atmosphäre am wenigsten in seiner Dichtigkeit Veränderungen erleidet, und sonach wird es in allen Versuchen in dieser Hinsicht angewandt, und zwar bei 60° Fahrenheit.

Die Bestimmung des specifischen Gewichts eines Körpers ist also nichts weiter, als die Ausmittelung, wie viel er schwerer oder leichter als sein eigenes Volum an reinem Wasser ist, eine Arbeit, die sehr schwierig und mühsam seyn würde, wenn nicht das bereits oben erklärte Gesetz statt hätte. Denn um die verhältnißmäßige Schwere eines unregelmäßigen Stücks Metall, und seinen gleichkommenden Umfang an Wasser zu erhalten, würde es nöthig seyn, ein genaues Maaß seines cubischen Inhalts, das mit Wasser in bestimmten Malen auszufüllen wäre, zu haben, was genau und mit Sicherheit auszuführen schwierig und selbst unmöglich seyn würde; aber da jede Substanz, die im Wasser sinken kann, durch Eintauchen soviel Gewicht verliert, wie es dem Wassergewicht seiner eigenen Umfangsgröße gleichkömmt, wird sie leicht, gewiß und schnell ausführbar, wie aus folgender Angabe, das specifische Gewicht aller solcher festen Körper zu erhalten, die schwer genug sind, im Wasser zu sinken, erhellen wird. Man hänge die zu untersuchende Substanz mittelst eines Haars an einen der Waagschaalenhaken der hydrostatischen Waage c Fig. 78., und zwar so, daß sie zwei oder drei Zoll in den leeren Krug a darunter hinein hängt, ohne die Wandungen oder den Boden berühren. Ist dieß geschehen, so balancire man sie genau durch Gewichte, die in die andere Schaale b gelegt werden, und merke sich dieß gewöhnliche Gewicht derselben in der Luft an; dann füllt man das Glas a mit Regen- oder distillirtem Wasser, bis die aufgehängte

Substanz über den Betrag ihrer eigenen Höhe emporgehoben wird, worauf man die Horizontallage der Waage wiederherstellen muß durch Gewichte, die in die Schaale c über die aufgehängte Substanz gelegt werden, die sie natürlicherweise unter das Wasser drücken, und diese Gewichte werden das Gewicht eines Wasservolums anzeigen, was dem des aufgehängten Körpers gleichkömmt. Das erste Gewicht in b muß nun durch das Gewicht in c dividirt werden, und der Quotient giebt die gesuchte specifische Schwere; oder mit andern Worten, er zeigt, wie viel mal der aufgehängte Körper schwerer ist, als sein eigenes Volum an reinem Wasser. Man nehme z. B. an, der aufgehängte Körper sey eine Guinee; diese würde in der Luft gewogen 129 Gran betragen; durch Untertauchen in Wasser würde diese Guinee über 7 Gran zu verlieren scheinen, oder soviel Gewicht muß in die Schaale c gelegt werden, um das Gleichgewicht herzustellen. Sodann geben 129 Gran mit 7 Gran dividirt einen Quotienten von etwa 18, der das specifische Gewicht der Guinee ist, und zeigen, daß das Gold, woraus sie besteht, 18 mal schwerer als dieselbe Umfangsgröße an Wasser ist. Ein Haar ist, wie bemerkt, das paßlichste Mittel zum Aufhängen, weil es die größte Stärke mit der geringsten Masse vereinigt*), also die Genauigkeit des Experiments nicht merklich beeinträchtigt, und keine merkliche Quantität Wasser einsaugt. Ist eine größere Stärke erforderlich, so kann man ein einfaches oder doppeltes Pferdehaar dazu nehmen. Auf diese und andere Weise, worüber sogleich gesprochen werden soll, hat man die specifische Schwere fast aller bekannten Substanzen sorgfältig ausgemittelt und in einer Tabelle der specifischen Schwere niedergelegt, wovon ein kleines Beispiel am Ende dieses Ab-

*) Dieß ist streng genommen nicht richtig. Platinadraht erfüllt diese beiden Bedingung in weit höherem Grade.

schnitts gegeben ist, was die Substanzen enthält, die am meisten brauchbar schienen. Weitere Details muß man in größern chemischen und hydrostatischen Werken suchen. Der Nutzen der Bekanntschaft mit der specifischen Schwere wird nunmehr hinlänglich einleuchten, denn dadurch wird die Reinheit oder Unreinheit, und die Einerleiheit oder Verschiedenheit vieler Körper allein bewiesen. So könnte z. B. die erwähnte Guinee aus einer Mischung von Kupfer und Zinn gemacht seyn, deren Oberfläche bloß übergoldet wäre, und zwar so, daß ihr Klang das Ohr völlig täuschte, und ihr Aussehen das Auge, indeß sie das volle Gewicht von 129 Gran hätte, indem ihre Dicke etwas vermehrt wäre, um diesen Metallen, die specifisch leichter als Gold sind, dieselbe absolute Schwere zu geben. Dennoch aber würde, wenn das specifische Gewicht dieser falschen Münze ausgemittelt würde, der Betrug klar werden, denn der Quotient würde in diesem Falle etwa 8 specifische Schwere geben, und sonach zeigen, daß im Vergleich zu dem Grundgewicht des Wassers sie viel leichter sei, als das Gold, das sie nachahmen soll; auf diesem Wege kann man allein den wirklichen Gehalt oder die Reinheit der edlen Metalle genau ausmitteln. In der Chemie und Mineralogie ist die Kenntniß der specifischen Schwere der Körper eben so wesentlich nöthig, um die Reinheit und Einerleiheit der Substanzen zu bestimmen. So sind in vielen Fällen die Mineralien, die würfligtes geschwefeltes Eisen und crystallinischer weißer Glanzkobalt heißen, dem Ansehen nach so äußerst ähnlich, daß sie das schärfste Auge nicht mit Gewißheit unterscheiden kann; allein die specifische Schwere des ersten ist immer zwischen 4,6 und 4,8 und die des letztern zwischen 6,3 und 6,5. So kann man ferner die Stärke und Reinheit des Weingeists, der Säuren, der Auflösungen und Aufgüsse nur durch ihre specifi-

sche Schwere bestimmen, denn Schwefelsäure, hat man gefunden, variirt ohne irgend eine anscheinende Veränderung des Aussehens zwischen 1,09 und 1,81.

Bei'm Entwurf der Tabellen der specifischen Schwere wird das Wasser, da es als das Grundgewicht zur Vergleichung angenommen wird, immer durch die Einheit oder 1 dargestellt. Sonach werden diejenigen Substanzen, die dem Wasser am Gewicht sehr nahe kommen, nur sehr wenig von der Einheitsbezeichnung abweichen. Auf gleiche Weise werden diejenigen, die schwerer als Wasser sind, oder in ihm untersinken würden, durch ganze Zahlen und Bruchtheile ausgedrückt; und diejenigen, welche leichter als Wasser sind, oder darauf schwimmen würden, keine ganze Zahlen haben, sondern bloß durch Brüche ausgedrückt werden. Wenn also Wasser = 1,000 ist, so ist destillirter Weineßig = 1,009, oder sehr wenig schwerer, während gegossenes Blei = 11.352 und Naphtha = 0,708 ist.

Reines Gold ist = 19,258, aber in diesem Zustande ist es zu weich und dehnbar, um zum allgemeinen Gebrauch zu passen; sonach wird Münzgold mit $\frac{1}{9}$ Kupfer legirt, wodurch es härter wird, und seine Form sich nicht sobald abreibt, und hiedurch wird seine specifische Schwere auf fast 18 reducirt. Bijouteriegold, woraus gewöhnliche Goldschmiedearbeit gemacht wird, enthält einen größern Zusatz von Kupfer, der ihm eine röthere Farbe giebt und es noch härter, aber weit leichter und spröder macht.

Aus dem Umstande, daß das Wasser bei Berechnung der specifischen Schwere der Körper als Einheit betrachtet wird, und daß ein Kubikfuß Wasser auch 1000 Unzen Engl. Gewicht wiegt, folgt, daß das Gewicht einer gegebenen Menge irgend einer Substanz, deren specifisches Gewicht bekannt ist, leicht berechnet werden kann; denn

dieselben Zahlen, die die specifische Schwere bezeichnen, drücken auch die Zahl der Unzen in einem Cubikfuß derselben Substanz aus; so wiegt ein Cubikfuß Portlandstein 2,570 Unzen, ein Cubikfuß Blei 11,352 Unzen, und Naphtha 708 Unzen.

Wenn Substanzen zu leicht sind, als daß sie im Wasser sinken können, so muß man eine Behandlungsart, die von der beschriebenen verschieden ist, anwenden, um ihr specifisches Gewicht erhalten; denn jetzt ist eine Kraft nöthig, um ihr Untertauchen zu bewerkstelligen, und dieß kann man auf mehrere Weisen bewirken. So kann man eine kleine Rolle, die wenig Reibung hat, mit dem Boden des Wasserkruges verbinden, oder mit einem Gewicht, was schwer genug ist, sie daselbst unbeweglich zu halten, und das Haar, was die Substanz hält, muß in diesem Falle nach unten unter die Rolle gehen, und wieder aufsteigen, so daß sein entgegengesetztes Ende an den Haken einer der Waagschaalen befestigt werden kann, wie in Fig. 79, worin d die zu untersuchende schwimmende Substanz, e der Wasserkrug, f die Rolle am Boden desselben und g das andere an die eine Waagschaale gehakte Ende des Haars ist. Die Substanz d muß zuerst auf gewöhnliche Weise in der Schaale gewogen, und sodann in den Krug gebracht werden, wie in der Figur gezeigt ist; darauf muß Wasser eingegossen werden, bis die Substanz im Schwimmen den Waagbalken in eine horizontale Lage zieht, und endlich muß man Gewichte in die andere Schaale bringen, bis die Substanz unter das Wasser gesunken oder gezogen ist. Man nehme an, der zu untersuchende Körper sey ein Stück Kork, was 30 Gran in der Luft wiegt, so wird man finden, daß etwa 150 Gran in die entgegengesetzte Schaale gelegt werden müssen, um es zum Sinken zu bringen, und dieß Gewicht muß zu dem ersten Gewicht von 30 Gran

gefügt werden was 180 Gran für das Gewicht eines Volums von Wasser, das dem des Korks gleichkömmt, beträgt. Das ursprüngliche Gewicht von 30 Gran muß nunmehr durch das Gewicht von 180 Gran Wasser dividirt werden (was natürlicherweise nur einen Bruch giebt), wovon das Facit beweis't, daß die specifische Schwere von Kork negativ, und zwar sechs mal geringer, als die des Wassers, folglich kann sie nicht durch eine ganze Zahl ausgedrückt werden, sondern kömmt unter die Brüche, also nur 0,166.

Wer keine solche Senkrolle, wie die beschriebene, besitzt, der kann die specifische Schwere eines schwimmenden festen Körpers auf folgende Weise finden. Man wiege den festen Körper in der Luft, wie vorhin, und dann nehme man ein Gewicht, was schwer genug ist, und bemerke sich die respectiven Quantitäten. Dann befestige man den schwimmenden festen Körper an das Gewicht, so daß beide untertauchen, wenn sie an der Waagschaale hängen, und mittele aus, wie viel das Gewicht durch die Schwimmkraft des festen Körpers verliert, was man zu seinem eigenen Gewicht in der Luft addirt, und so das Gewicht seines Wasserumfangs erhält, wie vorhin, da denn die Berechnung nach obbeschriebener Weise gemacht, oder, wenn man will, nach der Regel de Tri bewerkstelligt werden kann; denn das Gewicht des aus der Stelle gerückten Wasservolums verhält sich zu dem Grundgewicht 1,000, wie das Gewicht des festen Körpers in der Luft sich zu einem vierten Gewicht verhält, was die verlangte specifische Schwere giebt.

Die obigen Processe sind nur auf feste Körper anwendbar, da es unmöglich seyn würde, Flüssigkeiten auf dieselbe Weise zu behandeln, weil sie sich mit dem Wasser mischen. Die specifische Schwere der Flüssigkeiten kann man indeß auf mancherlei Weise ausmitteln. So sollte der Apparat der hydrostatischen Waage eine Glaskugel enthalten,

die schwer genug seyn wird, um in den meisten Flüssigkeiten unterzusinken, und dazu ein Gewicht, was ihr genau das Gegengewicht hielte, und was in die entgegengesetzte Waagschaale gelegt werden muß. Das Gewicht dieser Kugel in der Luft nach Granen sey immer auf ihrer Oberfläche angemerkt, um sich nicht bei'm Wägen aufzuhalten. Diese Kugel hängt an einem Haar oder feinem Platinafaden von dem Haken einer der Waagschaalen herab über dem Mittelpunkt des Wasserkruges, wie in Fig. 80. gezeigt ist. Nachdem sie in's Gleichgewicht gesetzt ist, so wird der Krug mit Wasser gefüllt, was die Kugel aufhebt, und nun muß man Gewichte in die Schaale darüber legen, um das Gleichgewicht wieder herzustellen. Diese Gewichte werden sonach das Gewicht einer Wassermasse anzeigen, das dem der Kugel gleicht. Der Krug wird nun weggenommen, und ein anderer, der die zu prüfende Flüssigkeit enthält, in seine Stelle gesetzt. Ist dieß Branntwein oder etwas, was specifisch leichter als Wasser ist, so sinkt die Kugel, und es muß ein Theil der Gewichte weggenommen werden, aber ist es Schwefelsäure oder irgend eine schwere Flüssigkeit, so steigt sie, und es müssen mehrere Gewichte zugesetzt werden, um das Gleichgewicht herzustellen. Nachdem die respectiven Gewichte angemerkt sind, so macht man folgendes Verhältniß: das Gewicht der Kugel im Wasser verhält sich zu ihrem Gewicht, wenn sie in irgend einer andern Flüssigkeit untergetaucht ist, wie sich 1,000, die Grundzahl des Wassergewichts, verhält zu der gesuchten specifischen Schwere. Wenn also die Kugel durch Eintauchen im Wasser 40 Gran verliert, und 75 Gran in Schwefelsäure, so giebt 40: 75 = 1,000 zu 1,875 die gesuchte specifische Schwere. (Das Gegengewicht ist oft so gemacht, daß es die Glaskugel in destillirtem Wasser balancirt,

welches nicht immer bei der Hand seyn dürfte, und so ist die Mühe gespart, es im Wasser zu wägen).

Diesen Versuch kann man indeß ohne die Kugel machen, und mit keinem andern Apparat, als mit einer gewöhnlichen Phiole und einer Waagschaale, nämlich man balancire eine leere Phiole mit Schrot oder einem andern Gegengewicht in einer Waagschaale: dann fülle man sie mit reinem Wasser, und merke sich das Grangewicht, gieße das Wasser aus, und nachdem man sie wieder mit der zu untersuchenden Flüssigkeit angefüllt hat, wäge man wieder, da denn das Gewicht des Wassers sich zu 1,000 verhalten wird, wie das Gewicht der andern Flüssigkeit zu ihrem verlangten specifischen Gewichte.

Eine der genauesten und bequemsten Methoden, die specifische Schwere der Flüssigkeiten auszumitteln, ist die mittelst einer sogenannten Tausendgranflasche. Diese ist bei den meisten Anfertigern von physikalischen Instrumenten, zugleich mit einem Gewicht, was ein genaues Gegengewicht für die Flasche ist, wenn sie mit destillirtem Wasser gefüllt ist, zu haben; ihre Größe ist genau durch Ausschleifen des Halses die Länge hinunter ausgeglichen, bis sie genau 1,000 Gran Wasser bei 60° Fahrenheit enthält. Dieß Instrument fordert folglich keine Berechnung, sondern man setzt es nur bloß mit Flüssigkeit gefüllt in eine Waagschaale, und das Gegengewicht in die andere. Ist die eingegossene Flüssigkeit leichter als Wasser, so nimmt sie an Gewicht ab, und man muß soviel Gran in ihre Schaale zulegen, als zur Herstellung des Gleichgewichts nöthig sind. Dieß zeigt zugleich, daß die specifische Schwere der untersuchten Flüssigkeit geringer ist als das Wassergewicht, und folglich eine Bruchzahl seyn muß. Aber ist die Flüssigkeit schwerer als Wasser, so überwiegt die Flasche, und es müssen Gewichte in die andere

Schaale gelegt werden, da denn deren Betrag zu dem des Grundgewichtes addirt werden muß. Z. B. wenn die Flasche mit Schwefeläther gefüllt wäre, so müßte man 261 Gran in die Schaale zu ihr legen, um das Gleichgewicht herzustellen, folglich wäre ihre specifische Schwere 0,739. Wäre sie mit Seewasser gefüllt gewesen, was dichter als wie das destillirte Wasser ist, so hätten müssen 26 Gran in die andere Schaale gelegt werden, und diese, wie bereits erklärt ist, hätten müssen zu dem Grundgewicht 1,000 gefügt werden, um die specifische Schwere dieses Wassers auszudrücken, welche folgende wäre: 1,026. Ferner würde Schwefelsäure, als noch schwerer, in gleicher Weise 875 Gran erfodern, und wäre sonach ausgedrückt durch 1,874.

Durch die Ansicht der Tabelle der specifischen Gewichte wird man finden, daß, wenn man einen Körper, der schwerer als Wasser ist, zum Wasser setzt, entweder als Solution oder Infusion, seine Dichtigkeit, und folglich seine specifische Schwere vermehrt wird, indeß aller Wein und alle geistige Flüssigkeiten leichter als Wasser sind, und im Verhältniß zu ihrer Reinheit leichter werden bis zum reinen Alkohol selbst, der nur 0.825 specifische Schwere hat.

Es folgt also, daß die Kenntniß der specifischen Schwere für Brauer, Branntweinbrenner und andere, die mit der Verfertigung dieser Liqueure sich beschäftigen, von äußerster Wichtigkeit ist, weil sie dadurch genaue Mittel erhalten, die Stärke und den verhältnißmäßigen Werth derselben zu schätzen. Jede der beschriebenen Verfahrungsarten würde dem Zweck dieser Untersuchung entsprechen, wenn sie bequem und kurz genug wäre, aber im Handel und Wandel bedient man sich beständig des sogenannten Hydrometers, wegen seiner großen Tragbarkeit und leichten Anwendung, ohngeachtet man sich auf seine Resultate nicht so

unbedingt verlassen kann, als auf die der hydrostatischen Waage, es sey denn, daß man ihn mit großer Sorgfalt anwendet.

Den Hydrometer soll Archimedes erfunden haben, und er besteht aus einer metallenen oder gläsernen Kugel, die so leicht ist, daß sie eben auf der Oberfläche der Flüssigkeit, in die sie gebracht wird, schwimmen, und ihre mit Graden versehene Scala und Compensationsgewichte halten kann. Seine gewöhnliche Form ist in Fig. 81. abgebildet, wo h gemeinlich eine hohle kupferne Kugel ist, die die Gestalt und ungefähre Größe eines Hühnereies hat: i ist eine eingetheilte Scala von dünnem Messing, die oben auf der Kugel steht, und k ein Messinggewicht, was mittelst eines Draths an dem Untertheil der Kugel sitzt, um das Instrument aufrecht zu halten, wenn es schwimmt, und so ausgeglichen, daß dadurch der Obertheil der Kugel ein wenig über die Oberfläche des Wassers, wenn es in dasselbe gebracht wird, hinaus steht: m ist ein Gewicht (deren mehrere da sind, die durch verschiedene Zahlen unterschieden werden), welches auf einen Stift fällt, der oben über der Scala hervorragt, um die Ausgleichung des Instruments zu vervollständigen. Durch dieß Gewicht wird das Instrument um so viel weiter in's Wasser gedrückt, daß der Nullpunkt, oder der Boden der Scala eben mit seiner Oberfläche zusammenfällt, und nach dieser Ausgleichung wird es, wenn es in einem Gefäß mit Weingeist oder einer andern Flüssigkeit, deren specifische Schwere geringer ist, und folglich minder hebt als Wasser, schwimmt, darin bis zu einer gewissen Tiefe untersinken, und den Unterschied dadurch anzeigen, daß die Oberfläche der Flüssigkeit einen höhern Punkt auf der mit Graden versehenen Scala durchschneidet. Wird das Instrument in eine Flüssigkeit gebracht, die eine größere specifische Schwere als das

Wasser besitzt, so daß das Gewicht m nicht ausreicht, die Scala zur Oberfläche niederzudrücken, dann muß das Gewicht mit einem stärkern vertauscht werden.

Die Schwierigkeit und Mühsamkeit in der Einrichtung und Anwendung des Hydrometers entsteht 1) aus dem Umstande, daß eine größere Menge Materie in die Flüssigkeit gebracht wird, in eben dem Verhältniß, wie das Instrument tiefer sinkt, was man einzig dadurch beseitigen kann, daß man den Hals i, auf welchem die Scala angegeben ist, so dünn macht, daß sein ganzer Umfangsgehalt bei'm Eintauchen kein merkliches Verhältniß zu der Umfangsgröße des ganzen Instruments hat; und 2) aus der Neigung der geistigen Flüssigkeiten, bei denen der Hydrometer hauptsächlich gebraucht wird, sich bei Temperaturveränderungen auszudehnen oder zusammenzuziehen, wodurch die Dichtigkeit derselben einer beständigen Veränderung unterworfen ist. Der zweite Nachtheil kann bloß durch den beständigen Gebrauch des Thermometers neben dem Instrumente beseitigt werden, und da die Eintheilungen mit der Dichtigkeit der Flüssigkeiten bei einer Temperatur von 60° Fahrenheit übereinstimmend gemacht sind, so bedarf es bei diesem von dem Instrument angezeigten Punkte keiner Correction. Allein da dieß Instrument in allen Jahreszeiten gebraucht werden muß, und es unmöglich seyn würde bei den ausgedehnten Handelsgeschäften die Temperatur der zu untersuchenden Flüssigkeit zu einem allgemeinen Standpunkte zu verändern, so müssen Correctionen gemacht werden, entweder durch Tabellen, Berechnungen oder Gewichtsveränderungen, die dem besondern Erforderniß angemessen sind, und so hat man verschiedene Abänderungen des Instruments ausgedacht, um das Verfahren zu erleichtern. Clark's Hydrometer, der sehr wenig von dem beschriebenen abwich, außer daß die veränderlichen Gewichte sehr zahl-

reich waren, und in der Flüssigkeit in der Stelle k angebracht wurden, statt oben auf die Scala, wie in m, angebracht zu werden, ward eine lange Zeit in Zollhäusern nach Vorschrift einer Gesetzesakte angenommen und gebraucht, aber da man ihn nicht bequem genug fand, ward er 1816 gegen Sikes's Hydrometer vertauscht, der jetzt in England allgemein gebraucht wird, nach einer Parlamentsakte (56th Geo. III. c. 140.). Dieß Instrument hat nur neun veränderliche Gewichte, die auf den Obertheil der Stange angebracht werden, wie in der Figur, und wird mit Tabellen oder einer Nachweisung gebraucht, die mit verkauft werden, um die Ausgleichung der verschiedenen Temperaturen zu berechnen. Die Scala ist in 10 Hauptgrade getheilt, wovon jeder wieder in 5 zerfällt, und durch die einzelne Anwendung der Gewichte nach der Reihenfolge, drückt sie die Grade der Stärke vom reinen Weingeist bis zum Wasser vollständig aus, indem jedes Gewicht 10 Hauptabtheilungen gleichkömmt. Dieser Hydrometer nebst dem mit 60 bezeichneten Gewicht, was, wie in k, auf die untere Stange geschraubt wird, ist so ausgeglichen, daß es bis zu dem Linienzeichen von P auf der Scala des Instruments sinkt, wenn es in Branntewein von der Mittelstärke gebracht wird, der 51° Fahrenheit hat, und durch die Zugabe des Quadratgewichts, oben auf der Stange, sinkt es auf denselben Punkt in destillirtem Wasser, was einerlei Temperatur hat. Dieß Gewicht ist genau $\frac{1}{12}$ des Gesammtgewichts des ganzen Hydrometers, incl. seinem Bodengewicht Nro. 60., und hiedurch wird die Scala den Unterschied zwischen Wasser und Normalschnaps zeigen, der nach der obigen Parlamentsakte genau $\frac{12}{13}$ eines gleichen Volums von destillirtem Wasser wiegen soll. Kein Branntewein darf zum Getränk verkauft werden, der stärker als der Normalspiritus ist; und dieser besteht halb aus Wasser

und halb aus reinem Geist, welcher letzte, wenn er auf Schießpulver in einen Löffel gegossen angebrannt wird, ganz abbrennt, und das Pulver anzündet, als wenn es nie naß gewesen wäre. Ist aber der Weingeist nicht so stark rectificirt, so bleibt Wasser genug zurück, um das Pulver feucht und unanzündbar zu machen. Bei'm gewöhnlichen Gebrauch des Hydrometers wird, obgleich die specifische Schwere wirklich gesucht ist, sie nicht in den angenommenen wissenschaftlichen Ausdrücken gegeben, sondern sie bezieht sich vielmehr auf die verkäufliche Stärke oder auf Hundertel über oder unter dem Normalspiritus, und hiernach werden die Eintheilungen der Scala gemacht; z. B. wenn das Instrument sinkt, so daß es 20 Grad über die Norm zeigt, so ist dieß soviel, daß der untersuchte Branntwein 20 Stübchen Geist mehr in den 100 Stübchen enthält, als nöthig ist, ihn zum Probespiritus zu machen, oder daß er 20 p.C. mehr werth ist als letzterer, und durch $\frac{1}{5}$ seiner eigenen Menge an Wasser geschwächt werden muß, ehe er verkäuflich ist. Die übrigen am meisten geschätzten Hydrometer sind die von Dicas, Quin und Jones. Der letzte ist sehr einfach und hat nur drei Veränderungsgewichte, und der Thermometer ist an dem Instrument mit einer solchen Scala angebracht, daß die Ausgleichung der Temperatur und der Abzug des wechselseitigen Eindringens der Flüssigkeiten anschaulich gemacht wird, ohne alle Tabellen oder erforderliche Berechnung.

Die wechselseitige Penetration der Flüssigkeiten in einander giebt ein anderes Beispiel zu den bereits angeführten von der Veränderung der Dichtigkeit oder dem Volumen ohne Veränderung des Gewichts; denn zwei gleiche Quantitäten von Wasser und starkem Weingeist geben vermischt nicht die erste Quantität doppelt, obgleich ihre vereinten Gewichte der Summe der einzelnen gleich bleiben. Dieß

giebt natürlich eine andere praktische Schwierigkeit, genaue Resultate durch den Hydrometer zu erhalten; denn wenn man durch ihn findet, daß zu 100 Gallonen (Stübchen) Weingeist 36 in den 100 über das Normalmaaß sind, und 36 Gallonen Wasser zusetzt, um sie normalmäßig zu machen, so wird die Mischung, statt 136 Gallonen zu geben, vielleicht nur 134 Gallonen Normalspiritus halten, indem 2 Gallonen in der Totalmenge durch die wechselseitige Verkörperung oder Penetration dieser Flüssigkeiten in einander verloren gehen, so daß die specifische Schwere von Mischungen in sehr wenigen Fällen das Mittel seyn kann, die besondere specifische Schwere der Ingredienzien zu bestimmen.

Wenn das Instrument gebraucht wird, um die specifische Schwere von Aufgüssen oder Extracten zu bestimmen, z. B. die Stärke der Würze bei'm Brauen, so heißt es ein Zuckermesser (in diesem besondern Fall, eine Bierwaage), und erfordert dann eine verschiedene Scala, ist aber übrigens in der Einrichtung nicht eben verschieden. Mit gewissen Abänderungen und Zusätzen, die Taylor erfunden hat, wird es ein Essigmesser, um die Stärke des Weinessigs und schwacher Säuren zu bestimmen. Und wiewohl der Hydrometer als aus Metall gemacht beschrieben ist, so wird er doch nicht selten auch von Glas gemacht, was sehr passend ist. Allein diese Instrumente werden zuweilen sehr unpaßlich aus Elfenbein gemacht, was wegen seiner Einsaugungskraft kaum zwei gleiche Resultate geben zu können verspricht.

Die Londoner Thermometermacher verfertigen kleine Glasblasen, wie Perlen, die hermetisch versiegelt, und von verschiedener Schwere sind, so daß, wenn einige auf gewöhnlichem käuflichen Branntwein schwimmen, andere untersinken, und da die specifische Schwere dieser Blasen durch Versuche ausgemittelt, und mittelst eines Diamants darauf

bemerkt ist, so werden sie sehr nützliche Instrumente, die verhältnißmäßige Güte der Spirituosa zu erforschen; denn wenn eine Blase eben unter die Oberfläche von gutem Branntwein sinkt, so sinkt sie in dem zu Boden, welcher noch stärker ist, und schwimmt auf dem, der nicht so stark ist. Die Figuren 5, 10, 15 ꝛc. auf diesen Blasen zeigen nach Hunderteln die Stärke an, wie der Hydrometer, allein man kann sich nicht so sehr darauf verlassen, es sey denn, daß man sie mit einem Thermometer bei der Temperatur gebraucht, für die sie ursprünglich gemacht wurden. Sie dienen aber sehr gut zur oberflächlichen Untersuchung der geistigen Flüssigkeiten, wie oben bemerkt ist.

Um die specifische Schwere der Gasarten zu erhalten, ist ein von allen bisher beschriebenen sehr verschiedenes Verfahren erforderlich, und das beste, was bisjetzt angegeben ist, steht im ersten Bande von Dr. Henry's trefflichen Elements of Chemistry, p. 126, was kürzlich folgendes ist. Die zu untersuchenden Gase müssen über Queckſilber in einer Glocke mit einem Schließhahn aufgefangen werden, wie in n Fig. 82 gezeigt ist, nachdem man zuvor den Gehalt dieser Glocke nach Kubikzollen ausgemittelt, und auf einer Scala an der Seite derselben bemerkt hat. Das Glas muß ganz rein, und von aller Feuchtigkeit frei seyn, was man gewöhnlich dadurch bewerkstelligt, daß man es passenden einsaugenden Substanzen aussetzt. Auch eine Glasflasche muß mit einem Deckel und Schließhahn paßlich versehen seyn, wie in o, womit sie an eine gute Luftpumpe geschraubt, und so vollkommen wie möglich ausgepumpt werden muß. Nun wägt man sie sehr genau, und schraubt sie an den Deckel des Recipienten n, da denn durch sehr gelindes Oeffnen der Hähne jede erforderliche Anzahl von Kubikzollen Gas, wie es die Scala auf n angiebt, in die Flasche o gelassen

werden kann, worauf man den Hahn der letzten zuschließt, sie abschraubt und auf's Neue wägt. Auf diese Weise findet man, daß 100 Kubikzoll atmosphärische Luft etwa 30.5 Gran wiegen, Sauerstoffgas von gleicher Menge etwa 34 Gran, und kohlensaures Gas über 47 Gran. Bei Vergleichung der Gewichte verschiedener Gasarten muß man die Höhe des Barometers und Thermometers beobachten, und 30 Zoll für den ersten, und 60° für den letzten ist das angenommene Normalmaaß. Sollte dieser Druck oder Wärmegrad variiren, so muß das Volumen des Gases darauf reducirt werden, durch Verfahrungsregeln, die für vorliegendes Werk zu lang sind, die man aber völlig in Prof. Brande's Manual of Chemistry p. 117 unter dem Titel Weight of Gasses auseinandergesetzt findet. Weiß man das Gewicht der atmosphärischen Luft, so kann man die specifische Schwere jedes Gases durch Vergleichung damit leicht ausmitteln; denn wenn 100 Kubikzoll gemeine Luft 30,5 Gran wiegen, und dieselbe Quantität von Sauerstoffgas 34 Gran wiegt, so ist 30,5 : 34 = 1,0000 : 1,1147 die gesuchte specifische Schwere. Oder man kann sie auch einfacher durch Wägen der Flasche bestimmen; erstens, wenn sie mit gemeiner Luft gefüllt ist, und dann, wenn sie ausgepumpt ist, und nachher, wenn man so viel von dem zu untersuchenden Gas hineinläßt, als sie fassen will, und sie dann zum dritten Mal wägt. Dann verhält sich der Verlust an Gewicht zwischen dem ersten und zweiten Wägen zu der Gewichtszunahme bei'm Einlassen des Gases, wie 1,000, oder das angenommene Gewicht der gemeinen Luft sich zu der gesuchten specifischen Schwere verhält.

Die beigefügte Tabelle enthält die specifische Schwere einiger Gasarten, Edelsteine, Metalle und solcher Stoffe mehr, deren Verhältniß man am ersten kennen muß. Wer ausge-

dehntere Tabellen bedarf, mag Dr. Young's Natural Philosophy, Vol. II. p. 503, oder Prof. Brande's Manual of Chemistry zu Rathe ziehen, aus welchen authentischen Quellen folgende Tabelle gezogen ist.

Tabelle der specifischen Schwere.

	Zur atm. Luft.	Zum Wasser.
Wasserstoffgas	0.084	0.000096
Stickgas	0.985	0.00120
Atmosphärische Luft	1.000	0.00128
Sauerstoffgas	1.103	0.00137
Kohlengas	1.500	0.00176
Kork		0.240
Naphtha (die leichteste tropfbare Flüssigkeit)		0.708
Salzäther		0.729
Schwefeläther		0.739
Reines Alkohol		0.825
Salpeteräther		0.908
Baumöl		0.915
Wachs		0.964
Wasser (das Grundmaaß)		1.000
Würze zu Tischbier		1.025
Kuhmilch		1.032
Würze zum Ale (Bier)		1.095
Fischleim		1.111
Reißblei		1.860
Elfenbein		1.917
Schwefel		1.980
Ziegelstein		2.000
Salpeter		2.000
Kochsalz		2.130
Porcellan		2.384
Schwarzer Feuerstein		2.581

	Zum Wasser.
Bergcrystall	2.653
Schiefer	2.671
Smaragd	2.775
Weißes Glas	2.892
Flintglas	3.329
Diamant	3.521
Beryll	3.548
Flußspath	3.175
Hyacinth	3 687
Rubinspinell	3.760
Orientalischer Topas	4.010
Spießglanz (roher)	4.064
Sapphir	4.076
Böhmischer Granat	4.188
Orientalischer Rubin	4.283
Molybdän	4.738
Arsenik	5.763
Gußspießglanz	6.702
Gußzink	7.190
Gußeisen	7.207
Gußzinn	7.291
Stabeisen	7.788
Gußnickel	7.807
Gußkobalt	7 811
Gehärteter Stahl	7.816
Weicher Stahl	7.833
Gußmessing	8.395
Gußkupfer	8.788
Gußwismuth	9.822
Reines Gußsilber	10.474
Dasselbe geschlagen	10.510
Gußblei	11.352

	Zum Wasser.
Queckſilber	13.568
Bijouteriegold	15.709
Münzgold	17.647
Reines Gußgold	19 258
Daſſelbe geſchlagen	19.361
Reine Platina	19.500
Dieſelbe geſchlagen	20.336
Platinadrath	21.041
Platinablech	22.069

Achter Abschnitt.

Hydraulik.

So wie die Hydrostatik sich mit dem Gewicht und Druck tropfbarer Flüssigkeiten und der Wirkung derselben auf Körper, die in sie gebracht werden, beschäftiget, so beschränkt sich die Hydraulik ganz besonders auf die Bewegung der Flüssigkeiten und auf die Einrichtung solcher Instrumente und Maschinen, die diese Bewegung hervorbringen und reguliren.

Die Bewegung der Flüssigkeiten geschieht durch ihre eigene natürliche Schwere, durch die Berührung mit andern Körpern, die schon in Bewegung sind, oder durch künstliche Kraft und Druck, wie bei den mancherlei Pumpen oder Wasserhebemaschinen. Die erste von diesen Ursachen bestimmt das Wasser, aus einer höhern in eine niedrigere Stelle zu fließen, sobald es kann, und hieraus erklärt sich's, daß alle Ströme und Flüsse von ihren Quellen nach der See laufen, wo sich das Wasser ausbreitet und sich über dem Theil der Erdkugel, der mit Wasser überzogen über, in's Gleichgewicht setzt, so daß die Oberfläche vom Centrum der Erde gleich weit entfernt ist, es sey denn, daß Ebbe und Fluth, Winde oder andere örtliche Ursachen sie beunruhigen.

Es entsteht natürlich die Frage, woher bei dem ewigen Abströmen der Flüsse, da sie immer niederfließen, ohne alle Abwechselung, der immerwährende hochliegende Quell entsteht, und wie es kömmt, daß er nie versiegt? Regen und diejenigen natürlichen Wasserquellen, die aus den Eingeweiden der Erde fließen, zeigen sich natürlich als die nöthigen Versorgungsmittel. Der Regen, der bereits oben erklärt ist, hat sicher einen sehr thätigen Antheil an der Hervorbringung dieser Wirkungen; allein die Menge des Regens, die in einer besondern Gegend fällt, wird doch, wenn sie gemessen wird, in den meisten Fällen nicht hinlänglich befunden werden, um dadurch die Versorgung der beständig und regelmäßig fließenden Quellen zu erklären; denn die allgemeine Wirkung des Regens ist, daß er die Flüsse plötzlich anschwellt, und Fluthen und Ueberschwemmungen hervorbringt, die sich zu der beständigen und regelmäßigen Unterhaltung der Quellen durchaus nicht eignen. Sobald der Regen auf den Boden fällt, oder der Schnee zu schmelzen anfängt, so zieht zwar eine große Menge Wasser in den Boden, und unterstützt die Quellen, und deßhalb ist es ausgemacht, daß sie einigermaßen davon abhängen, aber zugleich ist die langsame und fast unmerkliche Verdünstung und Niederschlagung, die beständig in der Atmosphäre vorgeht, das wahrscheinlichere Mittel der beständigen erforderlichen Wasserversorgung, als die zufälligen Regen- oder Schneewetter.

Dr. Halley hatte, da er sich auf der Insel St. Helena aufhielt, um die Sterne der südlichen Hemisphäre zu verzeichnen, seine Aufmerksamkeit auf die freiwillige Verdunstung gerichtet; indem er fand, daß die Gläser seiner Teleskope beständig mit Wasserdünsten bedeckt waren, selbst wenn die Atmosphäre hell war, ungeachtet er sich fast 800 Yards über der Meeresfläche befand; und die Unter-

suchungen, die er über diesen Gegenstand machte, bewiesen, daß die Menge des Wassers, die die Luft aufnimmt, viel größer sey, als man vorhin vermuthet hatte. Er berechnete, daß bei der allgemeinen Temperatur von St. Helena 10 Quadratzolle der Meeresfläche, täglich in 12 Stunden 1 Kubikzoll oder $253\frac{1}{3}$ Gran Apothekergewicht an Wasser verdunsten ließen, und daß folglich eine E. Quadratmeile des Oceans in gleicher Zeit 6914 Tonnen geben würde, eine Quantität, die groß genug ist, um alle Quellen des Landes zu erklären, und zu zeigen, wie es möglich ist, daß das Mittelländische Meer in einem fort frischen Zufluß von Wasser erhalten kann, ohne überzufließen. Da die trockne und heiße Luft unter der Linie eine viel größere Menge Wasser in Dunst aufzunehmen im Stande ist, als die kalte Luft anderer Klimas, so muß man nicht annehmen, daß eine gleiche Verdunstung an jedem Theile der Erdkugel stattfinde, und wirklich hat man nachher gefunden, daß die von Dr. Halley berechnete Quantität viel zu groß ist. Es ist indeß ziemlich genau ausgemittelt, daß fast ein Drittel Wasser mehr durch Verdunstung aufsteigt, als wieder zur Erde als Regen, Hagel oder Schnee zurückkömmt, und mithin kann man annehmen, daß dieser Ueberschuß sacht und unmerklich als Thau oder Nebel auf die Erde abgesetzt wird; und da dieser Absatz beständig durch Kälte hervorgebracht wird, und die obern Regionen der Luft viel kälter sind, als die untern, so wird die größte Menge des verdichteten Wassers den Gipfeln der Berge mitgetheilt, die gleicherweise die Wolken an sich ziehen, und so kann man die Existenz von Wasserquellen auf sehr hohen Bergen erklären, da es durch den Verdunstungsproceß allein möglich ist, daß das Wasser natürlicherweise an so hohe Stellen gebracht werden kann.

Im Durchschnitt werden also die Quellen auf diese Art mit Wasser versorgt, und durch gelegentliche Regenschauer verstärkt. Das so herbeigeführte Wasser sinkt oder sickert durch den Boden, bis es eine Bodenschicht als Thon, Stein oder dergleichen trifft, wodurch sein weiteres Niederfließen gehemmt wird, und es sich also anhäufen muß, bis es durch sein Bestreben an eine niedrigere Stelle zu kommen, durch den Boden bricht, und sich auf der Oberfläche als Quelle zeigt Oder wenn es diese Gelegenheit, frei zu kommen, nicht hat, so bleibt es versteckt, bis es bei'm Graben eines Brunnens bis zu der Tiefe hinab, wo es sich zufällig aufhält, zum Vorschein kömmt. Quellen können also nicht als Wasseradern betrachtet werden, die in besondern Richtungen durch die Erde laufen, wie man ehemals geglaubt hat, was durch den Umstand zureichend bewiesen wird, daß das Auspumpen eines tiefen Brunnens, so daß er auf ein paar Wochen trocken wird, wirklich alle die andern Brunnen in einem großen Umkreise austrocknet, was nicht der Fall seyn könnte, wenn die Quellen unzusammenhängend wären, statt von der Erdschichtung des Landes abzuhängen, worin sie sich befinden; und so wird man finden, daß geologische Kenntnisse von der größten Wichtigkeit bei'm Wasseraufsuchen sind; denn wenn die Beschaffenheit und Lage der Schichten einer Gegend bekannt sind, so wird es eine leichte und und beinahe mit Gewißheit zu lösende Aufgabe zu sagen, ob man Wasser in ihr finden kann, oder nicht; und in vielen Fällen kann man ziemlich genau die Tiefe bestimmen, die gegraben werden muß, um es zu finden.

Um die Menge Wasser, die als Regen auf die Erde fällt, zu bestimmen, gebraucht man ein Instrument, was Regenmesser heißt. Dieß besteht gewöhnlich aus einem großen zinnernen oder kupfernen Trichter, so wie

man ihn bei'm Füllen der Bouteillen gebraucht, ist aber so eingerichtet, daß sein offener Obertheil irgend ein gegebenes Flächenmaaß darbietet, z. B. einen Quadratfuß, oder eine Quadratelle. Dieser Trichter wird auf der Spitze eines Gebäudes befestigt, was hoch genug ist, um künstliches Strömen der Luft zu verhüten, und bleibt oben gegen die Atmosphäre ganz offen, um jeden fallenden Regen aufzufangen, indeß die nach unten gehende Röhre desselben in ein Zimmer, unmittelbar darunter, und in eine Glasröhre oder Phiole geleitet wird, die einen dichten Boden hat, und mit Graden ihres Gehalts nach Kubikzollen versehen ist. Diese Röhre, die nicht weit seyn darf, um Verdunstung zu verhüten, nimmt den Regen auf, der in den Trichter fällt, und zeigt sein verhältnißmäßiges Maaß an; denn bei einem Instrumente dieser Art ist es unnöthig, die wirkliche Quantität von Regen, die an einer gegebenen Stelle in einer gegebenen Zeit fällt, zu messen, sondern bloß die Quantität in einem besondern Zeitraum oder Jahreszeit mit einem andern zu vergleichen, entweder unter gleichen oder ungleichen Umständen. Sonach findet man in einigen meteorologischen Journalen angemerkt, daß in einem gewissen Monat, z. B. im Mai, die Menge des Regens, der an einer bestimmten Stelle fiel, 1.75 Zoll betrug. Im Monat August war der Regen 7 Zoll an derselben Stelle u. s. w., was alles bloß anzeigt, daß die Summe aller Regenschauer im Monat Mai einen Wasserabsatz in der Röhre hervorbrachte, der $1\frac{3}{4}$ Kubikzoll gleichkam, indeß der Regen im ganzen Monat August 7 Kubikzoll gab, oder viermal so stark war, und auf gleiche Weise kann man die Menge, die in einem Jahre fällt, mit der eines andern vergleichen, so wie mit dem Barometerstande, den Wolken, Winden und andern atmosphärischen Erscheinungen.

Diese verhältnißmäßige Menge Regen ist alles, was zu meteorologischen Zwecken nöthig ist, allein durch die Kenntniß der Grundfläche des Trichters, und ihre Vergleichung mit irgend einem größern Raum, kann man die Wassermenge, die auf eine Stadt oder auf eine größere Gegend fällt, ausmitteln, indem, wenn man weiß, wie viel Regen auf einen Quadratfuß fällt, es sehr leicht ist, die Menge zu berechnen, die auf eine Quadratruthe, oder selbst auf eine Quadratmeile fällt; allein die Berechnung muß nicht zu weit ausgedehnt werden, weil es oft an einer Stelle regnet, während es an einer andern gutes Wetter ist, und deßhalb muß man, um die Quantität Regen zu bestimmen, die auf einen großen Distrikt oder ein Land fällt, eine Durchschnittssumme nach den Resultaten mehrerer Regenmesser, die an verschiedenen Stellen aufgestellt sind, nehmen.

Das Wasser wird durch dieselbe Schwerkraft bethätiget, die auf feste Körper wirkt, und folglich, wenn es senkrecht fällt, wird seine Bewegung in der bereits erklärten Weise beschleuniget. Wenn es in einem Strom fließt, wie in Flüssen, oder Kanälen, so thut es dieß, weil das Ende des Kanals, gegen das es fließt, niedriger ist, als woher es kömmt, in welchem Falle seine Bewegung der der festen Körper gleich ist, die auf geneigten Ebenen hinabgehn; allein aus Mangel an Zusammenhang zwischen den Theilen der Flüssigkeiten, sind ihre Bewegungen unregelmäßiger, als die der festen Körper, und sie begreifen eine Menge schwer zu lösender Verwickelungen, und die bei der Untersuchung noch unzuverlässiger werden, weil man so wenig Versuche hat, die im Großen hinlänglich genau gemacht sind, um Data zur Berechnung herzugeben. Wenn ein fester Körper sich bewegt, so ist er durch seine Natur gezwungen, sich ganz zu bewegen, und

die Reibung zwischen ihm und der Fläche, worauf er sich bewegt, läßt sich sehr genau berechnen, aber nicht so bei einer Flüssigkeit, denn während sich ein Theil derselben schnell bewegt, kann ein anderer stillstehen, oder sich langsam, oder in entgegengesetzter Richtung bewegen, Dieß kann man besonders in Flüssen sehen, wo der Mittel- oder Hauptstrom immer mit größerer Schnelligkeit fließt, als der an den Seiten, und Versuche beweisen, daß eben dasselbe stattfindet, wenn das Wasser durch Röhren fließt, denn das Wasser, was mit den Wandungen der Röhre in Berührung ist, bewegt sich mit mehr Widerstand, als das in der Mitte, wodurch die angenommene oder berechnete Ausleerung einer gegebenen Röhre von beträchtlicher Länge weit geringer wird, als man nach der Größe derselben erwarten sollte. Der Ausdruck Reibung wird für diese Hemmung des Durchflusses der Flüssigkeit gebraucht auf gleiche Weise wie bei festen Körpern, und sie ist so sehr vorhanden, daß sie ein Gegenstand einer beträchtlichen Behinderung in der Praxis wird. Ihr kann nur dadurch abgeholfen werden, daß man die Zugröhre viel weiter macht, als sonst nöthig seyn würde, so daß sie einer hinlänglichen Menge Flüssigkeit in ihrer Mitte einen freien Durchgang giebt, wobei man annimmt, daß ein Ring oder hohler Cylinder von Wasser umher, völlig ruhig und unbeweglich ist. Außer der Reibung, tragen noch andere Umstände dazu bei, die Menge der Flüssigkeit zu vermindern, die sonst durch die Röhren gehen würde, als scharfe oder rechtwinkeligte Biegungen derselben, die Rückflüsse oder Strömungen in ihnen gestatten, oder wenn man diejenigen nicht verhindert, die zufälligerweise sich bilden. Es folgt also, daß, wenn eine Biegung in einer Wasserröhre nöthig ist, sie in einer so allmäligen Krümmung oder Schweifung gemacht werden sollte, als möglich ist, statt in einem spitzi-

gen oder selbst rechten Winkel; daß die Röhre nicht nur hinlänglich weit seyn muß, um den nöthigen Vorrath zu geben, sondern durchaus von gleicher Weite, und frei von allen Hervorragungen oder Ungleichheiten, gegen welche sich das Wasser stoßen, und dadurch Rückflüsse und Abprallungen machen kann, indem diese den Lauf der Flüssigkeit eben so thätig hemmen, als die festesten Hindernisse. Dieser Gegenstand ist besonders von Newton, Bernoulli, d'Alembert, de Buat, Robison, Venturi, Dr. Young und Andern mehr untersucht, und die folgenden wichtigen praktischen Resultate ihrer Arbeiten verdienen die äußerste Aufmerksamkeit. 1) Die Reibung des Wassers in Flüssen oder Kanälen nimmt zu wie das Quadrat der Geschwindigkeit. 2) Obgleich die Wandungen einer Röhre in jedem Falle einen gewissen Grad von Reibung hervorbringen müssen, so wird doch dieser Mangel öfters durch eine gehörige verhältnißmäßige Stärke der Röhre überwogen, wodurch die Flüssigkeit eine Richtung der Bewegung erhält, die sie sonst nicht erhalten hätte, und wodurch eine größere Ausleerung hervorgebracht wird, als auf andere Art möglich wäre. So z. B, wenn ein Gefäß oder Behälter einen dünnen zinnernen Boden hat, worin sich ein glattes rundes Loch befindet, könnte man glauben, daß das Wasser schnell aus ihm entleert werden müßte, weil die auslaufende Flüssigkeit keinen fortsetzenden Gegenstand findet, woran sie sich reiben könne, und also wenig Friction erfolgen müsse. Allein Venturi fand durch seine Versuche, (Experim. Enquiries concerning the motion of Fluids, V. I. transl. by W. Nicholson. Lond. 1799. Vergl. auch einen Aufsatz des Dr. Young on the motion of Fluids, applied to the circulation of the Blood, in den Philos. Transact. 1808), daß ein solches Gefäß nicht so schnell

sein Wasser ausleerte, als ein anderes, was dieselbe Höhe von Wasser und ein gleich großes Loch hatte, woran ein kurzes Rohr von gleichem Durchmesser wie das Loch unterhalb angebracht war, und durch Veränderung der Länge der Röhre fand er, daß, wenn die Länge zwei Mal den Durchmesser enthielt, sie die schnellste Ausleerung hervorbrachte; denn bei dieser Beschaffenheit leerte sie 84 Quart Wasser in 100 Secunden aus, indeß das bloße Loch ohne die Röhre nur 62 Quart in derselben Zeit ausleerte. Durch Fortsetzung der Versuche fand er, daß, wenn die Röhre, statt sich im Boden des Behälters in einem Niveau mit jenem zu befinden, so angebracht war, daß sie etwas tief in das Gefäß ragte, wie in p., Fig. 83, sie die Wirkung hatte, den Ausfluß des Wassers selbst noch unter den aus dem einfachen Loche ohne eine Röhre zu vermindern. Diese Erscheinung, daß ein Rohr und Loch von gleicher Weite unter verschiedenen Umständen verschiedene Quantitäten Wasser ausleeren, indeß der Obertheil oder Druck dieselben bleiben, erklärt sich genügend durch die Kreuz- und Queerströme, worin sich alle Flüssigkeiten bewegen, wenn die Zugröhren oder Gefäße so gebildet sind, daß sie die geraden Ströme hemmen oder umkehren, die sich sonst bilden würden, und man kann sie ziemlich genau untersuchen, wenn man gepülverte Kleie, oder Bernstein, oder andere durch die ganze Masse der Flüssigkeit schwimmende Dinge zumengt, wo man dann sieht, daß sich von oben und von den Seiten der enthaltenden Gefäße, nach der Oeffnung zu, Strömungen bilden, wie es durch die kleinen Pfeile in dem im Durchschnitt gezeichneten Gefäße, Fig. 84., verdeutlicht ist. Diese Strömungen stehen indeß bei der entleerenden Mündung nicht still, sondern sind wegen der Vis inertiae des Wassers gezwungen sich einander zu durchkreuzen, und

über die Oeffnung wegzugehen; daher verstopfen oder hindern sie einigermaßen den Durchgang des Wassers, welche mehr senkrecht abfließt, und machen durch ihre widerstrebenden Wirkungen, daß das ausfließende Wasser in einer schraubenartigen Form läuft. Diese Wirkung wird in einem großen Maaße dadurch verhütet und aufgehoben, daß man eine kurze Röhre unter dem Loche anbringt; allein wenn diese Röhre, wie in Fig. 83., in das Gefäß ragt, so nehmen diese Pfeile eine neue Richtung an, und diejenigen Säulen, die neben den Außenwänden des Gefäßes hinabgehen, werden, indem sie sich wieder aufwärts wenden, um zu der ausleerenden Oeffnung zu gelangen, in eine mehr entgegengesetzte Richtung rücksichtlich der Bewegung der mittlern hinuntergehenden Säulen gebracht, während daß sie selbst gezwungen sind, sich plötzlich gegen ihre Vis inertiae zu wenden, ehe sie in die Röhre kommen können, und so wird die Ausleerung thätiger verhindert, als wenn sie aus einem bloßen Loche durch einen dünnen Boden stattfände.

Newton untersuchte die Krümmungen, worin eine Flüssigkeit aus dem Innern eines Behälters nach einer ausleerenden Oeffnung im Boden desselben geht, und fand, daß die Figur, die durch die von allen Seiten zu einem gemeinschaftlichen Mittelpunkt, nämlich der Ausflußmündung, wie die Pfeile in Fig. 84. anzeigen, fließenden Ströme hervorgebracht wird, ein Hyperboloid der vierten Klasse sey; und Venturi, da er den großen Unterschied der Ausleerung durch einerlei Weite der Oeffnung fand, wie oben bemerkt ist, entschloß sich darnach, eine der natürlichen Form des fließenden Wassers angemessene Zapfröhre am Boden eines Behälters, wie in Fig. 85., anzubringen, und fand, daß, obgleich die Bodenöffnung q so groß, wie vorhin war, die ausgeleerte Menge auf 98 Quart

in derselben Zeit zugenommen hatte; und indem er annahm, daß die Krümmung, die das Wasser natürlich im Laufen annimmt, sich über den Punct der Ausleerung hinaus erstreckte, so erweiterte er gleichfalls das untere oder ausleerende Ende der Zapfröhre, indem er ihr eine glocken- oder trompetenförmige Mündung von derselben ausgeschweiften Gestalt gab, wie in Fig. 86., und durch diese Gestalt erhielt er die höchste Quantität Wasser, die aus einer gegebenen Oeffnung fließen konnte.

Es ist augenscheinlich, daß diese Beispiele nicht auf ausgedehnte Röhrenlängen passen, sondern bloß auf die schnelle Entleerung von Wasserbehältern, und sie sind hier bloß darum angemerkt, um zu zeigen, durch welche einfache Mittel das Fließen des Wassers in der Praxis verhindert oder verstärkt werden kann. Die Bewegung der Flüssigkeiten, die Reibung und andere Ursachen, wodurch sie verhindert wird, macht einen äußerst verwickelten und schweren Zweig der mathematisch n Physik aus, ist aber zu abstract, um in gegenwärtiges Werk aufgenommen zu werden. Man kann praktisch annehmen, daß das Wasser durch gerade Röhren von 2 bis 7 Zoll Durchmesser in horizontaler Lage in einer Sekunde 3 Fuß weit fließen kann, ohne durch Reibung viel Kraft zu verlieren, es sey denn, daß die Länge der Röhre sehr beträchtlich ist; und folglich ist, um die Wassermenge zu berechnen, die eine Röhre in einer gegebenen Zeit liefert, bloß nöthig, den Wassergehalt von drei Fuß jeder Röhre in Kubikzollen oder irgend einem andern körperlichen Maaß zu berechnen, und dieß mit der in einer gegebenen Zeit enthaltenen Anzahl von Secunden zu multipliciren, um den Betrag des Ausflusses zu erhalten.

Wenn die Natur der Bewegung, des Seitendrucks, der Schwerkraft und des Moments der Flüssigkeiten durch

die theoretischen und mathematischen Principe der Hydrostatik und Hydraulik untersucht ist, so ist die Construction von Maschinen zur Hebung oder Bewegung des Wassers, und um aus seiner Wirkung eine benöthigte Kraft zu ziehen, die natürliche Folge. Bei dem Bau dieser Maschinen muß man nicht vergessen, daß das Wasser einen beständigen Hang hat, zu fallen, was den zu bezwingenden Hauptwiderstand in einem Falle, und im andern den Grund der Kraft giebt, und da das Wasser nie über seine gewöhnliche Richtlinie steigen kann, außer durch Einwirkung einer äußern Kraft, so kann es auch im Niedersinken nie eine größere Kraft hervorbringen, als es durch die Erhebung gewonnen hat, weil dieß gegen die Gesetze des hydrostatischen Gleichgewichts streiten würde.

Das wohlbekannte Werkzeug, der Heber, könnte bei'm ersten Anblick eine Ausnahme von dieser Regel scheinen, denn er besteht aus nichts weiter als einer gebogenen Röhre r s t Fig. 87., deren einer Schenkel oder Ende r in die Flüssigkeit gebracht wird, die in einem auszuleerenden Gefäße oder Behälter ist, da denn mittelst des Mundes oder einer Saugspritze am äußern Ende t die Luft ausgesaugt wird, bis ein Theil Flüssigkeit folgt, und nun entsteht ein anhaltender und regelmäßiger Strom, bis daß das Wasser sämmtlich abgezogen ist, wenn es nicht durch den Hahn bei t vorher angehalten wird; und wird dieser Hahn geöffnet, so fließt das Wasser von neuem, selbst wenn die Biegung s der Röhre über zwanzig Fuß über der Oberfläche des Wassers r ist. Bei genauerer Untersuchung dieses Instruments findet man, daß es von dem hydrostatischen Gleichgewicht abhängig ist, denn wenn nicht der Schenkel oder die Entfernung von s nach t größer ist, als von s zu der Oberfläche des Wassers in r, so wirkt das Instrument nicht, wie man sogleich sieht, wenn man

die Schenkel umkehrt, oder das Ende t in's Wasser bringt, vorausgesetzt, daß das Wasser so hoch im Gefäße steht, daß es unter dem Ende des äußern Schenkels ist; denn die Wirkung des Hebers hängt nicht davon ab, daß die wirkliche Länge seiner Schenkel ungleich ist, sondern davon, daß die effectiven Schenkel so beschaffen sind, und die effectiven Schenkel rechnet man von der Oberfläche der Flüssigkeit bis zur Biegung oder dem Punkt s und von da bis zum äußersten Ausflußpunkt in t; wenn mithin der Schenkel s r unbestimmt verlängert würde über die Länge von s t, so würde der Heber noch laufen, vorausgesetzt, daß die Flüssigkeit in r höher stände als das Ende t, allein er würde bloß so lange laufen, bis die Oberfläche der Flüssigkeit bis zum Niveau des Punkts t gesunken wäre, und dann würde er aufhören zu wirken. Die Wirkung des Hebers ist einfach folgende: durch das Ausziehen der Luft aus dem Ende t entsteht ein leerer Raum in der Röhre; der Druck der Atmosphäre auf die Oberfläche des Wassers r macht also, daß es steigt, und die Röhre bis zu dem Punkt s anfüllt, und nachdem diese Höhe erreicht ist, fährt das Wasser fort nach t nieder zu fließen; indem der Heber also ganz mit Wasser gefüllt ist, theilt er sich in zwei entgegengesetzte oder entgenwirkende Säulen, die seine zwei Schenkel einnehmen, und da Flüssigkeiten im Verhältniß zu ihrer senkrechten Höhe ohne Rücksicht auf die Größe ihrer Säule drücken, so macht es nichts aus, daß die zwei Schenkel des Hebers von gleichem Durchmesser sind; denn wenn der Schenkel r s unbestimmt weiter als der Schenkel s t ist, und folglich mehr Wasser enthält, so wird doch, wenn s t der längste ist, seine Säule überwiegend seyn, und die von r s überwältigen, und durch die Entleerung in t einen neuen luftleeren Raum in der obern Biegung s machen und unter-

halten, der beständig durch einen neuen Wasserzufluß, der von r aus durch atmosphärischen Druck hinaufgetrieben wird, ausgefüllt wird, folglich wird der Strom anhalten, so lange als Wasser am Ende r über dem Niveau des Ausleerungspunkts t steht; aber sobald dieß Wasser zu der Richtfläche dieses Punkts hinabsinkt, die man bei der punktirten Linie v annehmen kann, so werden sich r s und s v, weil sie gleiche Länge haben, balanciren, und es fließt kein Wasser. Es erhellet gleichfalls, daß der Heber nicht im Stande ist, Wasser über seine Richtfläche hinaus zu geben, und daß seine Ausleerung in allen Fällen fast dieselbe ist, als die durch ein gleichweites Loch, was in die Seite des Gefäßes in der Tiefe des Ausleerungspunktes f gebohrt wäre; denn wie viel auch die Länge des Schenkels oder der Röhre s v t beträgt, so wird die von s nach v niedergehende Wassersäule vollkommen durch die aufsteigende Säule von r nach s balancirt, folglich die ganze Länge der wirksamen oder überwiegenden Säule von v nach t seyn; je tiefer also t unterhalb v ist, um desto schneller wird das Wasser fließen, indeß, wenn der Ausleerungspunkt bis nahe an v gehoben wird, die überwiegende Säule an Kraft abnimmt, und der Fluß viel langsamer wird. Da der Heber zu seiner Wirkung des Drucks der Atmosphäre bedarf, so darf die Biegung s in keinem Falle 33 Fuß von der Oberfläche des zu hebenden Wassers übersteigen, oder das Instrument wird unwirksam. Es ist bereits bei Gelegenheit des Barometers gezeigt, daß eine Quecksilbersäule von 31 Zoll Höhe die größte Höhe dieses Metalls ist, die der Druck der Atmosphäre bei ihrer größten natürlichen Dichtigkeit erhalten kann, und daß bei Verminderung dieser Dichtigkeit sie oft nicht mehr als 28 Zoll Quecksilber in der Barometerröhre tragen kann. Da nun die specifische Schwere des Quecksilbers 13,56, oder über

$13\frac{1}{2}$ Mal bedeutender ist, als die des Wassers, so folgt, daß, wenn der Luftdruck 31 Zoll Queckſilber tragen kann, er auch eine $13\frac{1}{2}$ Mal so hohe Waſſerſäule hält, oder eine ſolche, die etwa 420 Zoll oder 35 Engl. Fuß in ſenkrechter Höhe hat, und da jedes Steigen oder Fallen von einem Zoll Queckſilber im Barometer einer Veränderung über $13\frac{1}{2}$ Zoll in der Waſſerſäule gleichkömmt, ſo wird, wenn das Queckſilber auf 28 Zoll fällt, die Waſſerſäule auf etwa 32 Fuß und 7 Zoll ſinken. Der Barometer iſt aber ſelten ſo niedrig als 28, oder ſo hoch als 31 Zoll, folglich werden 33 Fuß im Durchſchnitt als die äußerſte ungefähre Höhe angenommen, zu welcher eine Waſſerſäule durch atmoſphäriſchen Druck gehoben werden kann. Dieß heißt aber die Berechnung für praktiſche Zwecke zu einer übergroßen Genauigkeit treiben, wovon ich viele Beiſpiele geſehen habe. Wenn der Barometer niedrig ſteht, ſo iſt ein Vacuum, was an das Torricelliſche gränzt, erforderlich, um eine Waſſerſäule in dieſer Höhe durch atmoſphäriſchen Druck zu halten; und ich rathe, bei'm Bau aller Pumpen und hydrauliſchen Maſchinen, wo dieſe Kraft angebracht werden ſoll, keine größere ſenkrechte Höhe der Waſſerſäule als von 28 bis 30 Fuß zu nehmen. Die Richtigkeit dieſer Bemerkungen wird unten bei der Beſchreibung der mancherlei Pumpen zum Waſſerheben noch mehr einleuchten; denn der Theil der Heberöhre von r nach s kann der Saugröhre einer Pumpe verglichen werden, und wenn die ſenkrechte Höhe von r nach s 35 Fuß überſteigt, ſo kann das Waſſer in keinem Fall durch atmoſphäriſchen Druck nach s hinaufſteigen, ſondern der Obertheil der Röhre wird ganz leer bleiben, wie der Raum am Oberende der Barometerröhre, wobei das Waſſer in einiger Entfernung unter s ſtehen bleibt, und nach Art des Queckſilbers bei den Luftveränderungen ſteigt und fällt, und ſo einen Waſſerbaro-

meter macht, nur mit dem Unterschiede, daß, während die Bewegung des Queckſilberbarometers auf den kleinen Raum von 3 Zollen beſchränkt iſt, das Waſſer des erſten wegen ſeines geringern Gewichts ſich durch einen Raum von beinahe $3\frac{1}{2}$ Fuß bewegt. Es iſt auch nöthig, bei'm Gebrauch des Hebers den Ausflußpunkt t hinlänglich niedrig zu machen, um den Waſſerſtrom ſo zu verſtärken, daß keine Luft in den ausleerenden Schenkel treten kann, welches geſchieht, wenn die Röhre ſehr weit, und der Strom matt iſt. Dieß kann man dadurch verhüten, daß man ein oder beide Enden des Hebers nach oben biegt, wie in Fig. 88., in welchem Falle das Inſtrument ein Würtembergiſcher Heber heißt, nach dem Lande, wo dieſe Form erfunden wurde. Dieſer Heber, wenn er einmal gefüllt iſt, iſt beſtändig zum Gebrauche fertig, ohne daß man ihn vorher auszuziehen braucht, wenigſtens ſo lange, als er in einer aufgerichteten Lage gehalten wird; denn wegen der Geſtalt ſeiner Enden wird eine kleine Quantität Flüſſigkeit in den Biegungen unter der punktirten Linie u w zurückgehalten, wodurch der Ausfluß der Flüſſigkeit von dem Obertheil x verhindert wird, indem der Zutritt der Luft in die Röhre abgehalten wird, und mithin, wenn ein Ende in eine Flüſſigkeit getaucht wird, ſo daß es tiefer als u w iſt, ſo fängt das entgegengeſetzte Ende zu laufen an.

Der Hauptnutzen des Hebers iſt, Flüſſigkeiten aus den Obertheilen ihrer Behältniſſe abzuziehen, ohne daß man zapft oder unten eine Oeffnung macht; auch iſt er bei manchen chemiſchen Proceſſen zum Abziehen von Flüſſigkeiten, ohne den etwanigen Bodenſatz anzurühren, ſehr nützlich. Auch iſt er von Hrn. Busby ſehr ſinnreich zur Kanalſchleuſe angewandt, um Waſſer zu ſparen, worauf er vor einigen Jahren ein Patent erhielt. Der Heber wird auch zuweilen verſteckt, um ein phyſikaliſches Spielwerk,

den sogenannten Tantalusbecher, zu machen. Dieser Becher hat einen hohlen Stiel, wie in y Fig. 89., in den ein kleiner gläserner Heber z gekittet ist, so daß die obere Biegung desselben etwas weniges unter dem Rande des Bechers steht, und der kürzeste Schenkel a den Boden beinahe berührt. Gießt man Wasser in den Becher, so steigt es in der Röhre a zu seiner Richthöhe, aber das Wasser bleibt noch im Becher; wenn man ihn aber zu füllen sucht, so steigt das Wasser noch weiter in der Röhre a hinauf, bis es zu der Biegung gelangt, wo es überfließt, und so die lange Röhre z b gänzlich anfüllt, und in dem Augenblick, da dieß geschehen ist, fließt das Wasser in einem fort aus b, bis der Becher ganz leer ist. Den Obertheil des Hebers z a kann man verstecken, wenn man z.B. das hohle Bild eines Mannes darüberstellt, so daß das Kinn desselben mit der Biegung des Hebers in einer Richtfläche steht, da denn der Becher so lange Wasser behält, bis er bis an's Kinn der Figur gefüllt ist, aber sobald das Wasser diesen Punkt erreicht, so fließt es ab. Aus der hohlen Figur selbst kann man den Heber machen ohne eine gebogene Röhre, denn wenn c Fig. 90 eine gerade Röhre ist, die durch ein Loch im Boden eines Gefäßes geht, und ein kleiner Recipient oder oben verschlossene Röhre d darüber gestülpt wird, so bildet dieß sogleich einen Heber, und sobald das Wasser nach e mit der Spitze der Röhre c in eine Linie steigt, so fängt es an zu fließen.

Man kann nach dem Princip des Hebers einen sehr schönen Springbrunnen im Kleinen machen, und zwar: f (Fig. 91.) ist ein langer gläserner Recipient, der oben verschlossen ist, und g ein Messingboden, der über das untere Ende desselben luftdicht gekittet ist. Dieser Deckel hat zwei Löcher h und i; in h ist ein kleines Spritzenrohr befestigt, dessen dünnes Ende aufwärts steht, wäh-

rend das untere Ende einige Zoll unter den Boden hervorragt. In das Loch i paßt eine Röhre i k, die etwa $\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser hat, und so lang ist, wie der Recipient f hoch ist; diese letzte Röhre steht nicht über dem Boden des Deckels vor, sondern ist in gleicher Linie mit demselben eingefügt. Wenn man bei dieser Einrichtung das Instrument umkehrt oder mit dem Recipienten f nach unten hält, bis eine hinlängliche Menge Wasser in k eingegossen ist, um noch mehr als die Röhre i k auszufüllen, und es dann wieder in die aufrechte Stellung dreht, wie in der Figur, so fließt das Wasser wieder in i k nieder, und macht dadurch eine Luftverdünnung im Recipienten, und wenn folglich nun das untere Ende der Röhre h in ein Gefäß mit Wasser l gebracht wird, so steigt das Wasser durch die Röhre beinahe bis zur Spitze des Recipienten, und da das auf solche Art eingebrachte Wasser fortfährt durch die Röhre i k nieder zu laufen, so wird das Wasserspringen natürlich so lange fortfahren, als die Röhre h mit Wasser versorgt wird. Das Untere der Röhre i k sollte entweder aufwärts gebogen seyn oder in einem Becher mit Wasser stehen, um zu verhüten, daß keine Luft in f steigt, besonders wenn die Springröhre h sehr klein ist.

Aus der obigen Beschreibung ersieht man, daß der Heber, ob er gleich das Wasser über die Richtfläche desselben hebt, dieß nur in sofern kann, als er es nachher an einer niedrigern Stelle ausleert, und mithin kann der Heber nicht mit zu denjenigen Instrumenten gezählt werden, die den ausdrücklichen Zweck haben, Wasser über diejenige Höhe zu heben, zu der es nicht fließen würde, außer durch Einwirkung einer äußern Kraft. Maschinen dieser Art kann man in zwei Klassen theilen, nämlich in diejenigen nach der einfachsten und ältesten Einrichtung, wobei das Wasser durch die bloße Kraftanstrengung gehoben oder ge-

leitet wird, und in die von jüngerer und gekünstelterer Art, wobei der Druck oder die Elasticität der Atmosphäre, das Moment oder die Bewegungskraft, Veränderung der Temperatur und andere physikalische Principe in Anwendung gebracht werden.

Das einfachste und gewöhnlichste Mittel, Wasser aus der Tiefe in die Höhe zu heben, ist unstreitig der Gebrauch des Eimers und Seils oder Kette, die um eine Winde sich windet, wie bei'm gewöhnlichen Ziehbrunnen; wenn aber die Tiefe groß ist, so wird dieß ein langweiliges und kostspieliges Verfahren. Diese Verfahrungsart mußte aber bald zu der Verbesserung führen, statt eines eine Reihe von Eimern zu gebrauchen, und dieß ist die Grundlage von zwei der ältesten hydraulischen Maschinen, die unter dem Namen des Persischen Rades und der Schraube des Archimedes bekannt sind, so wie auch von den neuern Erfindungen, der Eimerpumpe und der Kettenpumpe.

Das Persische Rad, Fig. 92, muß einen größern Durchmesser haben, als die Höhe, zu welcher das Wasser gehoben werden soll, und in einem Strom oder Behälter stehen, aus welchem das Wasser zu bringen ist. Es besteht bloß aus einem Reifen (Kranz) oder hölzernen Zirkel, der auf Speichen liegt, die aus der Centralaxe m kommen, um die sich das Rad in vertikaler Richtung dreht. An seinem Umfange hängen mehrere Eimer oder Kasten, wie n, o, p und q, an eisernen Ringen oder Bolzen so, daß diese Eimer beständig aufrecht hängen, wie sich das Rad auch dreht, und da die untern Eimer n n n durch die Bewegung des Rads gezwungen sind in das Wasser r r zu tauchen, so werden sie gefüllt, und bringen ihr Wasser hinauf wie in o o o, bis sie zuletzt zu dem höchsten Punkt p kommen, und alle nacheinander die Cisterne s berühren, von der sie umgekippt werden, und in die sie

ihr Wasser gießen, und nachdem sie hinübergegangen sind, steigen sie leer an der entgegengesetzten Seite q q hinab, und werden abermals durch das Eintauchen in's Wasser gefüllt. Bewegung kann man diesem Rade geben, entweder durch thierische Kraft, oder, wenn r r ein fließender Strom ist, der hinlängliches Wasser übrig hat, durch Schaufeln, wie sie bei andern Wassermühlen sind, die man auf dem Umfang des Rades selbst anbringt, wodurch denn ein Theil von dem Wasser, was das Rad treibt, in die Höhe gehoben wird. Kleine Federn t t sind an jedem Eimer an der Stelle befestigt, die mit der Seite des Wassertrogs s in Berührung kömmt, theils um die Heftigkeit der Stöße zu brechen, die der Trog sonst von den Eimern erhalten würde, theils um die Eimer stärker umzukippen, damit sie sich desto vollkommner ausleeren können. So einfach diese Maschine scheint, so ist sie doch eine der vorzüglichsten und wirksamsten, um Aecker und Gärten zu wässern, wo es nöthig ist, einen Theil Wasser aus einem fließenden Strom höher hinauf zu heben. Sie erfordert keine Sorgfalt oder Aufmerksamkeit bei ihrer Thätigkeit, und da sie sich unaufhörlich bewegt, so lange der Fluß läuft, so bringt sie eine beträchtliche Wassermenge empor, selbst wenn die Eimer derselben nur klein sind, und je kleiner sie sind, desto weniger Kraft ist erforderlich, das Rad in Bewegung zu setzen. Es bedarf auch keiner solchen Genauigkeit der Bearbeitung derselben, wie sie gewöhnlich bei'm Mühlenbau nöthig ist, sondern sie wirkt, wenn sie auch noch so roh gemacht ist.

Nahe verwandt mit dem Persischen Rade, aber interessanter und künstlicher ist die Schnecke oder Schraube des Archimedes, eine Maschine, die dieser Physiker, 200 Jahr vor Christi Geburt, erfand und gebrauchte, um in Ae-

gypten Wasser zu heben und Land auszutrocknen. Die Schnecke besteht aus einer Reihefolge von Eimern oder Fängen, die mit dem Wasser gefüllt werden, was gehoben werden soll, aber statt einzeln und abgesondert zu seyn, wie bei'm Persischen Rade, werden sie aus den untern Theilen des hohlen Schraubenganges gebildet, und ihre Bewegung und Folge nach einander wird durch das Drehen der Schraube bewerkstelligt. Dieß wird deutlicher durch Ansicht der Fig. 93, die diese Maschine darstellt, und worin v u w x eine biegsame Röhre zeigen, die schraubenartig um einen festen Cylinder y y gewunden ist, dessen beide Enden mit Spindelzapfen versehen sind, so daß er sich mit seiner ihn umwindenden schraubenförmigen Röhre um seine Axe dreht, entweder durch die Wirkung des fließenden Wassers, oder irgend einer andern Kraft, die auf sein Ober- oder Unterende angebracht wird. Endlich muß diese Maschine so von den beiden Zapfen gehalten werden, daß sie mit dem Horizont einen spitzen Winkel macht, wie in der Figur. Wenn nun angenommen wird, daß das untere Ende v der Röhre im Wasser steht, so wird das Wasser in die Röhre und in seine Richtlinie fließen, und die unterste Biegung v einnehmen, und wenn jetzt der Cylinder y y durch seine Handhabe z in der Richtung des Pfeils neben v gedreht wird, so wird das untere Ende der gewundenen Röhre über die Oberfläche des Wassers im Behälter in die Höhe gebracht, und das Wasser, was in die Röhre getreten ist, hat keine Gelegenheit zu entkommen, sondern fließt durch die Bewegung der Schraubenröhre darin fort, bis es sich am Ende des ersten Umdrehens in der zweiten untern Biegung u befindet. Mittlerweile hat das unterste Ende der Röhre eine zweite Eintauchung in den Wasserbehälter gemacht, und füllt sich zum zweiten Mal, welches Wasser bei'm nächsten Umdrehen auf gleiche Weise nach u kömmt, in-

deß das vorige Wasser aus u nach w gehoben wird, bis endlich, wenn der Cylinder so viel Mal umgedreht ist, als Windungen der Röhre auf ihm sind, alle untere Biegungen mit Wasser gefüllt werden, wie lang auch der Cylinder y y ist, und da das äußerste Oberende a der Röhre bei jedem Umdrehen in die Lage einer untern Biegung gebracht wird, so wird es das Wasser in eine zu dessen Aufnahme aufgestellte Cisterne ausleeren. Die durch diese Maschine gehobene Menge Wasser hängt von der Weite der Schraubenröhre und dem Winkel ab, unter dem sie gegen den Horizont geneigt ist. Allein man wird an der Figur sehen, daß Platz da ist, um mehrere parallele Röhren nebeneinander auf dem Cylinder anzubringen, da sie denn alle gleichzeitig wirken; oder der ganze Cylinder selbst kann zu einer hohlen Schraube gemacht werden, indem man bloß eine dünne Scheidewand um seine Centralaxe macht, was die gewöhnlichste Form der Maschine bei'm Gebrauch ist. Im Kleinen kann man sie machen, wenn man eine oder mehrere Bleiröhren um einen festen Cylinder von Holz wickelt, was eine nützliche Maschine giebt, um Wasser zu geringen Höhen zu heben. Sie war ehedem sehr im Gebrauch, weil sie aber leicht durch Schlamm, Kraut und andere Dinge verstopft wird, und es sehr schwer ist, sie zu reinigen, so trifft man sie nur noch selten. Man hat ihr, wegen des Anscheins, als würfe sie das ganze Gewicht des Wassers, welches sie hebt, auf ihre Axe, und der wenigen Reibung, womit dieselbe mittelst Reibungswalzen gemacht werden kann, erstaunliche Kräfte zugeschrieben, und mehrere Entwürfe eines Perpetuum Mobile darauf gebaut: allein bei der Untersuchung findet sich, daß das Wasser bloß auf einer Neigefläche zu fließen bestimmt wird; und mag Wasser oder irgend ein ander Gewicht auf einer festen Neigefläche hinaufgezogen

werden, oder mag es stillstehen, bis es durch eine Neigefläche bewegt wird, die unter dasselbe getrieben wird, was bei den Quantitäten des Wassers, die in den verschiedenen Biegungen v u w x enthalten sind, der Fall ist, so wird die mechanische Kraftanstrengung in beiden Fällen einerlei seyn; folglich besitzt diese Maschine keinen andern mechanischen Vortheil vor andern Vorrichtungen, außer daß ihre Bewegungen mit minderer Reibung verbunden sind, als die der meisten derselben.

Das Princip der Archimedischen Wasserschraube wird zuweilen bei der Radform angewandt, indem man die Speichen hohl und gebogen macht, wie in c c c, Fig. 92; aber auf diese Weise kann das Wasser nicht höher gehoben werden, als zur Axe des Rades; denn indem die hohlen Speichen am Umkreise des Rades offen sind, so tauchen sie in's Wasser, und schöpfen daraus, was wegen der Radbewegung und ihrer besondern Gestalt zu der Axe gebracht wird, die entweder hohl seyn kann, um das Wasser aufzufangen und wegzuführen, oder es kann eine Cisterne darunter gesetzt werden, um das Wasser aus den Speichen aufzufangen.

Die Eimermaschine und Kettenpumpe sind bloß Modifikationen der obbeschriebenen Maschinen, und sind in besondern Verhältnissen sehr nützlich. Die Kettenpumpe ist abgebildet in Fig. 94, und besteht aus einer Anzahl von flachen Platten oder Scheiben von Holz oder Metall d d d, die gewöhnlich viereckig, und durch ihre Mitte durch eine Eisenstange mit einander verbunden sind, mit Gelenken zwischen Bret und Bret, so daß sie sich fast eben so frei drehen können, als wenn sie durch eine Kette verbunden wären. Die so gestaltete Scheibenkette wird von zwei Rädern e und f getragen und in ihrer Stelle

gehalten, wovon jedes mit doppelten vorstehenden Armen versehen ist, um die Scheiben zu fassen und nach der Reihe zu halten, und zwar so, daß, wenn das oberste Rad e durch eine Winde gedreht wird, es die ganze Kette in Bewegung setzt, indem eine Seite derselben aufwärts geht, während die andere beständig in derselben Richtung hinabsteigt. Die aufsteigende Seite der Kette geht durch einen beträchtlich langen viereckigen Kasten g g, der durch ziemlich genaues Anschließen an die Scheiben die Pumpe bildet. Das untere Rad f, so wie das untere Ende des Kastens muß unter Wasser stehen, und die durch den Kasten aufsteigende Scheibenkette bildet eine Reihe von Kammern oder Höhlen, die mit Wasser gefüllt werden, was immer oben wieder ausgeleert wird. Wegen der Gestalt dieser Pumpe ist zu ihrer Wirksamkeit tiefes Wasser nöthig, und sie kann folglich keinen Behälter bis an den Grund ausschöpfen, aber sie hat den Vorzug, daß sie sich nicht verstopfen kann, und bringt selbst Schlamm, Steine, Kraut und Spähne, die die Wirkung einer vollkommnern Maschine völlig zerstören würden, empor, und ungeachtet man annehmen kann, daß sie dadurch viel Wirksamkeit verlieren muß, daß die Scheiben nicht sehr genau in den Kasten passen, so bringt sie doch, wenn sie gehörig eingerichtet ist, eine beträchtliche Menge Wasser in die Höhe, weil ein oberer Raum immer bloß in den unter ihm liegenden auslaufen kann, und die Bewegung der Scheiben sehr schnell ist. Nimmt man an, daß das Ober- und Unterrad e und f bleibt, wenn der Kasten g g weggenommen wird, und eine Anzahl von Eimern, gleich denen auf dem Schöpfrad Fig. 92, an der Kette angebracht wird, anstatt der viereckigen Scheiben d d d, so wird die Maschine zur Eimermaschine, die nur eine andere Form des bereits beschriebenen Persischen Schöpfrades ist. Man hat weit

mehrere Maschinen dieser Art zum Wasserheben, aber da sie meistens nach den bereits angegebenen Principen eingerichtet sind, so würde es die Gränzen des vorliegenden Werks überschreiten, sie alle zu beschreiben.

Die Seilpumpe von Vera, die in den meisten Werken über Hydraulik beschrieben ist, besteht gleichfalls aus einer obern und untern Rolle, die auf gewöhnliche Weise gemacht ist, wovon aber jede mehrere Vertiefungen hat, worin sich Seile ohne Ende, die aus sehr locker gesponnenem Pferdehaar oder Wolle gemacht sind, sehr rasch vermittelst eines mit der obern Rolle verbundenen Kammrades bewegen. Die untere Rolle, zusammt einem großen Theil des Seils, bewegt sich im Wasser, was bloß durch sein Anhängen an die Seile und die Schnelligkeit ihrer Bewegung in die Höhe gebracht wird. Dieß ist also nur eine sehr unvollkommene und rohe Art der Eimerpumpe, und verdient keineswegs die Stelle unter den hydraulischen Maschinen, die sie so lange behauptet hat.

Die zweite Klasse von Vorrichtungen zum Wasserheben, oder die, welche nach bestimmten physikalischen Principen wirken, begreift alle die Maschinen, bei denen der Name Pumpe im eigentlichern Sinne gebraucht wird. Man hat verschiedene Arten von Pumpen, aber die einfachste und gemeinste ist die gewöhnliche Hebe- oder Hauspumpe (Schuckpumpe), die in ihrer Wirkung hauptsächlich von dem Druck der Atmosphäre abhängt. Diese nützliche Maschine ist sehr alt, indem ihre Erfindung von Vitruv dem Ctesebes aus Alexandria, um das Jahr 120 vor Christus, zugeschrieben wird; aber die Principe, nach denen sie wirkt, sahe man erst sehr lange nachher ein, wie aus der sehr hinkenden Erklärung derselben erhellet, die Galilei gegen den Anfang des 17ten Jahrhunderts ver-

suchte. Die Natur des atmosphärischen Drucks ward indeß damals nicht ganz eingesehen, und es ist eine seltsame Thatsache, daß die Versuche, die man mit dieser jetzt allgemeinen Maschine machte, nicht zur Erfindung des Barometers leiteten, wodurch nachher die Veränderungen der Atmosphäre so genau untersucht sind.

Die Form und Einrichtung der gewöhnlichen Pumpe ist bereits in der Pneumatik (zu Figur 58. Tafel VI.) völlig beschrieben, so daß es unnöthig ist, sich hier weiter darüber zu verbreiten; wir bemerken also nur, daß Alles, was über den Heber gesagt ist, gleichfalls auf die Pumpe paßt; denn wenn der Kolben bei seiner höchsten Elevation, irgend die Höhe von 33 Fuß von der Oberfläche des Wassers im Brunnen übersteigt, so läuft man Gefahr, daß die Thätigkeit der Pumpe keinen hinlänglich vollkommenen leeren Raum schaffen kann, um das Wasser zu heben. Auch wird es nicht unstatthaft seyn, hier einen andern häufigen Irrthum im Bau dieser Pumpen zu bemerken, der sehr nachtheilig für ihre Wirkung ist, nämlich den, daß man die Saugröhre, oder die Röhre, die von dem Wasser, was gehoben werden soll, aufwärts bis zum Boden des Stiefels (oder von q nach s, Fig. 58) geht, zu enge macht, weil man glaubt, daß, wenn die Röhre weit ist, der Stämpel bei'm Aufsteigen eine viel stärkere Wassersäule, und folglich eine viel größere Last, als nöthig ist, zu heben und nachzuziehen habe. Die Trüglichkeit dieser Annahme ist bereits durch die Versuche mit dem hydrostatischen Paradoxon bewiesen; denn ob eine Wassersäule nach unten auf einen Stämpel oder Kolben in obbeschriebener Art drückt, oder diese Wassersäule unterhalb eines aufsteigenden Stämpels befindlich ist und von ihm aufwärts gezogen wird, wie es bei der Pumpe der Fall

ist, so bleiben die Umstände des Drucks immer einerlei, und werden nur durch die senkrechte Höhe und die horizontale Durchschnittsweite der Säule bestimmt. Der Stiefel der Pumpe, oder der Kolben, der darin wirkt, bestimmt also immer den Umfang der Säule, und ob die Röhre, die das Wasser in sie hinauf oder nach oben aus ihr bringt, größer oder kleiner ist, so bleibt die wirkliche Kraft, die Pumpe zu bewegen, einerlei, nur die Reibung ausgenommen. Wenn daher der Stiefel m m, Fig. 58, als drei Zoll im Durchmesser habend, angenommen wird, und die Saugröhre s q nur einen Zoll, so wird doch die kleine Wassermenge in dieser Röhre dieselbe wirkende Kraft ausüben, um den Stämpel n niederzuziehen, als wenn sie denselben Durchmesser, wie der Stiefel hätte. Es würde einerlei seyn, wenn sie nur ein Zehntel so weit wäre, und sie würde nicht stärker wirken, wenn sie zehn Mal und darüber weiter wäre, als der Stiefel. Es erhellet also, daß kein mechanischer Nachtheil daraus entstehen kann, wenn die Saugröhre durchaus denselben Durchmesser, als der Stiefel hat, obschon ein bedeutender Nachtheil daraus entstehen muß, wenn diese Röhre zu klein ist, denn ohne daß das Wasser in der Saugröhre hinaufffließen kann, um das Vacuum, was unter dem Kolben entsteht, so schnell, als dieß Vacuum gebildet wird, zu füllen, wird der Kolben am Aufsteigen gehindert, indem der Druck der Atmosphäre auf ihn niederdrückt, und man hat daher mehr Kraft anzuwenden, als zu der Säule, die man hebt, erforderlich ist, oder als nöthig seyn würde, wenn die Pumpe ihre volle Wasserladung unbehindert erhalten könnte. Dieß ist indeß ein sehr allgemeiner praktischer Irrthum, und manche äußerst wohlgearbeitete und eingerichtete Pumpe leidet an dem Mangel, daß sie eine zu kleine Saugröhre hat, oder zu hoch über dem zu hebenden Wasser steht.

Ungeachtet die gewöhnliche Pumpe theoretisch außer Stande ist, Wasser höher, als 33 Fuß (oder praktisch 30 Fuß) aus der Tiefe zu heben, so kann man sie doch so einrichten, daß sie das Wasser fast bis zu jeder erforderlichen Höhe über ihren Kolben bringt, und zwar durch Anbringung einer fortgesetzten geraden Röhre, statt des Ausläufers in o v, Fig. 58. Nimmt man also an, daß diese Laufröhre weggenommen, und dafür eine 20 oder 30 Fuß lange dichte Eisenröhre oben auf den Cylinder m m gesetzt ist, so muß das Wasser, was einmal gehoben ist, da es nicht wieder durch die Klappe t nieder in den Stämpel oder Schöpfer t n kommen kann, mit jedem Zuge der Pumpe zu steigen fortfahren, bis es zuletzt oben am Ende der Röhre überfließt, oder durch einen an der Seite angebrachten Ausguß abzieht. In diesem Falle hat der atmosphärische Druck mit der Elevation über dem Kolben nichts zu thun, folglich kann sie zu jeder Höhe getrieben werden, die die Stärke der Pumpe erlaubt, allein der Hebel p p (oder irgend eine andere Vorrichtung, wodurch die Pumpe bewegt wird) muß über der Spitze dieser Röhre befestigt seyn, und die Kolbenstange o gleiche Länge mit der Röhre haben, um den Stiefel in den Gränzen des atmosphärischen Drucks zu erhalten, was diese Pumpeneinrichtung bei sehr großen Tiefen unanwendbar macht, weil sich die Kolbenstange biegt. Wenn man Röhren von Gußeisen anwendet, so kann man dieß einigermaßen verhüten, wenn man kleine Stücken mit vorragenden Armen, die lang genug sind, die innere Seite der Röhre zu berühren, an jedem Gelenk der Stämpelstange, oder etwa 10 oder 12 Fuß von einander anbringt, wie in Fig. 95, da denn diese Pumpe bei beträchtlichen Tiefen mit Vortheil gebraucht werden kann.

Wenn der Brunnen oder die Wasserquelle nicht tief ist, und das Wasser zu einer beträchtlichen Höhe geschickt werden soll, kann man die eben bemerkte große Länge der Kolbenstange dadurch vermeiden, daß man die ganze Einrichtung dieser Pumpe umkehrt, d. h., den Kolben nach unten stellt, und die Schließklappe und Ausflußröhre nach oben, wie in Fig. 96, wo h h den umgekehrten Cylinder zeigt, und i den umgekehrten Stämpel mit der Stange und einer sich aufwärts öffnenden Klappe; k ist die Schließklappe über, statt unter dem Cylinder, die sich auch nach oben in die Steigeröhre l l öffnet, die man zu jeder erforderlichen Höhe lang machen kann. Das untere Ende des Stiefels ist ganz offen, und muß ganz unter Wasser stehen, woraus es heben soll, so daß keine Saugröhre nöthig ist, und der Kolben i kann durch eine Handhabe und eine Reihe von Hebeln m, n, o, oder auf irgend eine andere bequeme Weise bewegt werden. Nach der bereits gegebenen Beschreibung der gemeinen Saug- oder Hebepumpe ist es unnöthig, etwas über die Wirkung dieser Maschine zu sagen, da vermuthlich die Abbildung sie deutlich genug macht: während das Unterende des Stiefels h h im Wasser steht, und der Stämpel i sich auf und nieder bewegt, so wird der Stiefel durch die Stämpelklappe bei jedem Niederzuge gefüllt, und bei jedem Aufzuge wird der Inhalt durch die Schließklappe k in die Steigeröhre l l getrieben, und wie weit auch diese Röhre seyn mag, so wird doch ihr Widerstand immer dem Gewicht einer Wassersäule von dem Umfang des Stiefels gleich seyn, sowie einer Höhe, die der senkrechten Höhe des Wassers in der Steigeröhre gleich kömmt; denn diese Röhre kann horizontal oder schräg liegen, so daß ihre Länge dadurch wesentlich verändert wird, doch aber ist es die senkrechte Höhe zwischen der Fläche des zu hebenden Wassers und seinem

Ausleerungspunkt, die allein in Rechnung kommen muß, wenn man die Belastung einer Pumpe anschlägt, da die Zunahme der Länge ohne Höhe in der Röhre keinen andern Widerstand macht, als den der Reibung, die man sehr leicht beseitigen kann, wenn man die Röhre erweitert.

Eine sehr einfache, wohlfeile und wirksame Pumpe nach dem Hebungsprincip, kann man zum Austrocknen von Ländereien oder Teichen sehr nützlich gebrauchen, wenn Platz genug zu ihrer Wirkung da ist. Sie ist abgebildet in Fig. 97, in der Lage, wie sie gebraucht wird, d. h., sie liegt mit der Oberfläche des Wassers, was sie zu ziehen hat, in einem Winkel von etwa 45 Graden, ob sie gleich auch bei einer größern oder mindern Neigung sehr gut wirkt. Sie besteht aus einer langen viereckigen Büchse oder Röhre, die aus vier zusammengenagelten starken Brettern gebildet ist, die inwendig glatt gehobelt, und deren Fugen mit Bleiweißkitt luftdicht geschlossen sind. Eine ähnlich gestaltete, aber kleinere, etwa einen Fuß lange Büchse gleitet in den Untertheil der großen Röhre, um einen Anhaltpunkt für die untere Klappe zu bilden, die aus einem Stück von sehr starkem Leder gemacht ist, welches an einer Seite bloß an die eine Seite der kurzen Büchse genagelt ist, so daß es eine Angel bildet, und mit Ausnahme dieser Angel ist das ganze Leder mit einem viereckigen Tannenbrett bedeckt, was darauf genagelt ist, um die Klappe zu steifen, die (ohne Zwang) im Innern der großen Röhre spielen muß. Bei'm Gebrauch der Pumpe muß diese Angel zu oberst seyn, und die Klappe ist an eine besondere kurze Büchse gemacht, um sie desto leichter losmachen zu können, wenn sie ausgebessert, oder die Pumpe gereinigt werden soll, aber bei'm Gebrauch muß sie an ihre gehörige Stelle geschraubt oder gekeilt

werden. Der Stämpel besteht aus nichts weiter, als einer vierseitigen Klappe oder hohlen Pyramide von sehr starkem Leder, die fest auf das Ende einer Stange genagelt ist, die zuvor dazu paßlich gemacht wird, und als Kolbenstange wirken soll, weßhalb sie einen T köpfigen Handgriff hat, mittelst dessen sie durch eine erforderliche Anzahl Menschen in Thätigkeit gesetzt wird, die neben einander auf einer Bank sitzen, um sie zu bewegen, wobei ihre Füße gegen ein Fußbrett, was fest am Boden ist, gestemmt sind. Die Art und Weise, diese Pumpe zu bewegen, ist ganz der bei'm Rudern eines Bootes gleich, denn bei'm Vorwärtsbewegen, um den Stämpel hinabzudrücken, fällt die lederne Pyramide zusammen, und geht durch das Wasser in die Röhre ohne Widerstand, und läßt selbst Steine, Spähne und Dinge durch, die eine gewöhnliche Pumpe verstopfen würden, aber bei'm Aufziehen des Stämpels dehnt sich die Pyramide aus, so daß sie mit den vier Seiten der Röhre in Berührung kömmt, und bringt das Wasser und alles vor sich her herauf. Das Wasser entleert sich in eine hölzerne Rinne, und läuft unter der Bank weg, auf der die Menschen sitzen; bei'm Aufziehen des Kolbens sind sie mit dem Körper zurück und fast gerade gezogen, indeß sie sich mit den Füßen gegen das Fußbrett stemmen, und so ist der Körper in die bestmöglichste Stellung gebracht, um seine Stärke zu gebrauchen. Wegen des Gewichts des Wassers, was eine Röhre dieser Art enthält, und der Kraft, die zu ihrer Bewegung nöthig ist, wird es nothwendig, eiserne Schraubenbänder darum zu legen, wie in q q q, weil sonst die Fugen losgehen und Luft zulassen würden. Die Kolbenstange ist r, der T-Handgriff s s, und t die hohle lederne Pyramide oder Kolben, wie man diese Theile sieht, wenn sie aus der Pumpe gezogen sind. Letztere ist aus vier gleichschenkligen Dreiecken aus sehr starkem Leder

gemacht, die an den Seiten, wo sie in Berührung kommen, stark und wasserdicht zusammengenäht sind. Bei'm Gebrauch dieser und aller übrigen Pumpen, um schlammiges oder sandiges Wasser aufzuziehen, ist es immer rathsam, das Unterende der Pumpe in einen dichten Weidenkorb oder Seiger zu setzen, weil Sand und kleine Steine sehr bald das Leder und die wirkenden Theile jeder Pumpe verderben; und wenn Pumpen zu heißen Flüssigkeiten gebraucht werden, wie es der Fall in vielen Manufakturen ist, so muß man statt Leder dickes Hanftuch nehmen, es sey denn, daß die Klappen und der Stämpel ganz von Metall gemacht sind.

Es könnte scheinen, daß die obbeschriebenen und in Fig. 95 und 96 abgebildeten Pumpenzu jedem Zwecke und in jeder Lage anwendbar wären, z. B. Wasser aus Gruben und tiefen Stellen zu heben; aber dieß ist nicht der Fall wegen der fast unmerklich geringen Elasticität des Wassers, und der Wirkungen der vis inertiae, die die Flüssigkeiten mit den festen Körpern gemein haben. Wenn wir annehmen, daß bei der Bewegung der Pumpe in Fig. 96 die Röhre l l voll Wasser sey, so hat dieß Wasser nicht Elasticität genug, um den Stiefel h h seinen Inhalt durch die Klappe k ausleeren zu lassen, ohne alles in l l befindliche Wasser in Bewegung zu setzen, indeß, wenn der Kolben niedergeht, diese Bewegung zu Ende ist. Das Wasser in l l ist also in einem abwechselnden Zustande von Ruhe und Bewegung, und wenn die Säule lang ist, und die Menge groß, so ist die vis inertiae beträchtlich, d. h., es ist eine beträchtliche Kraft nöthig, um das Wasser aus dem Zustande der Ruhe in Bewegung zu setzen; und wenn es einmal angefangen hat, sich zu bewegen, so hat es nicht gleich Neigung, in den Zustand der Ruhe wieder zurückzukehren, sondern kann mit geringerer Kraft in Bewegung erhalten

werden, als nöthig war, es hineinzusetzen. Das Niedersteigen des Stämpels gestattet indeß Zeit genug, daß die sämmtliche mitgetheilte Bewegung völlig aufhöre, und daher haben wir bei Bewegung dieser Pumpe nicht nur das Gewicht der Wassersäule zu überwältigen, sondern mit jedem Zuge die natürliche vis inertiae zu bekämpfen. Dieß kann man mehrentheils dadurch beseitigen, daß man zwei, oder noch besser drei Pumpen beständig in Thätigkeit hält durch eine dreifache Kurbel, und sonach bedient man sich dieses Mittels häufig bei kleinen Maschinen, womit man Wasser zu einer großen Höhe treiben will, indem dadurch das Wasser in den Röhren nie zum Stillstehen kommen kann, sondern im beständigen Fluß oder Strom unterhalten wird. Das dreifache Knie ist eine eiserne Axe, die in die Form von Fig. 98, Taf. IX. gebogen ist, so daß sie drei Ellbogen v u w bildet, an deren jedem die Kolbenstange durch ein Ringgelenk festsitzt, wobei sich das Ganze auf zwei Endzapfen oder Spindeln x y umdreht. Die Folge davon ist, daß, indeß die mit dem Knie w verbundene Kolbenstange b gerade am untersten Punkt oder Ende ihres Zuges ist, die Kolbenstange a mit ihrem Knie u ihrer größten Höhe sehr nahe ist, aber die Stange z und das horizontale Knie v in der Mitte ihres Zuges sind; die Pumpe, die mit v verbunden ist, würde also in der gegenwärtigen Lage der Umstände allein wirksam seyn, aber wenn man annimmt, daß die Kurbel sich bewegt, so hat b, ehe die Stange z zu Boden kömmt, ihren Zug nach oben, und a nach unten angefangen, so daß durch diese Vorrichtung eine Pumpe immer in wirksame Thätigkeit gesetzt ist, ehe die andere zu wirken aufhört, und also ein beständiger Strom hervorgebracht wird. Um dem dreifachen Knie seine vollkommenste Thätigkeit zu geben, müssen die drei Kniee oder Arme mit einander einen Winkel von

120 Graden bilden, oder von den Enden x oder y angesehen, wie die drei Radien c d e, die neben der letzten Figur besonders gezeichnet sind, stehen.

In den meisten Fällen des Wasserhebens kann man sich der Pumpeneinrichtung, die man Druckpumpe nennt, mit Nutzen bedienen besonders wenn die Pumpe weit, und die Höhe, zu der das Wasser gehoben werden soll, groß ist, indem dadurch das Knie in Gefahr gesetzt werden dürfte, verdreht oder zerbrochen zu werden. Die Druckpumpe wird gleichfalls meistens in Verbindung mit einem Windkessel gebraucht, oder mit einer starken metallenen Blase, worin sich verdichtete Luft befindet, deren Elasticität die Pumpe in den Stand setzt, alle die vortheilhaften Wirkungen eines beständigen Stroms mit einem oder höchstens zwei Stiefeln, statt der drei, die bei der dreifachen Kurbel nöthig sind, hervorzubringen, und so wird der Reibung beträchtlich vorgebeugt.

Die Druckpumpe wird in zweierlei Form gemacht, je nach der Lage und den Umständen, worin sie zu wirken hat. Die einfachste und beste Einrichtung ist die von Figur 99. Sie besteht aus einem genau gebohrten cylindrischen Stiefel f f, dessen Obertheil ganz offen ist, um den massiven Kolben i aufzunehmen, der vollkommen luft- und wasserdicht auf- und niedergeht, und vermittelst des Hebels oder der Handhabe g g, oder einer andern bequemern Kraftanbringung bewegt wird; h ist die Saugröhre, die wie bei jeder Pumpe in das zu hebende Wasser taucht, und diese Röhre kann man unter 33 Fuß beliebig lang machen (s. S. 231); k ist die Schließklappe, die den obern Theil der Saugröhre bedeckt, und das Wasser in den Stiefel läßt, so wie der Stämpel aufwärts geht, aber es nicht wieder zurücklaßt, so daß, sobald der Stämpel durch seine Handhabe g gehoben wird, sich der Stiefel mit Wasser

füllt, was durch den atmosphärischen Druck in der Röhre h hinaufgetrieben wird, und wenn der Stämpel wieder nach unten geht, dasselbe, weil keine Klappe da ist, die es wieder durchläßt, die Seitenröhre l, die sich im untern Theile des Stiefels öffnet, hinaufgetrieben wird, und durch die Klappe m, die seinen Rückfluß hindert, so daß es gezwungen ist, seinen Weg in der Steigeröhre p p hinaufzunehmen, die über der Klappe m steht; diese Röhre kann zu jeder erforderlichen Höhe verlängert werden, ohne Rücksicht auf den Druck der Atmosphäre, indem das Aufsteigen des Wassers nicht von dessen Thätigkeit, sondern von der mechanischen Kraft abhängt, die auf die Handhabe g angebracht wird, um den Kolben niederzudrücken. Während der Kolben steigt, um den Stiefel zu füllen, ist die Klappe m verschlossen, und mithin hört alle Bewegung der Flüssigkeit in der Röhre p p auf, und deßhalb wird der Windkessel n gebraucht; denn man sieht, daß die Röhre p p nicht unmittelbar über der Klappe m gefügt ist, sondern daß sie durch den Obertheil eines luftdichten kupfernen oder andern hohlen Gefäßes n geht, und sich fast an den Boden desselben erstreckt. Da die Luft eine leichtere Flüssigkeit, als Wasser ist, so nimmt sie natürlich den Obertheil des Gefäßes ein, und sobald als die Thätigkeit der Pumpe es mit Wasser bis zu der punktirten Linie o o angefüllt hat, oder bis gerade über das untere Ende der offenen Röhre p p, so wird alle Luft über dem Wasser eingeschlossen, und kann nicht entweichen. Nimmt man nun an, daß die Bewegung des Kolbens das Wasser schneller in das Luftgefäß treibt, als es durch die Röhre p p entweichen kann, so ist es klar, daß diese eingeschlossene Luft zu einem kleinern Volum verdichtet werden wird, als sie von Natur hat, um dem Wasser Platz zu machen, und da die Elasticität der Luft nach dem Grade der Verdich-

tung unbegränzt an Kraft zunimmt, so wird die Elasticität der Luft in dem Windkessel ein Gegengewicht für jede Höhe werden, zu der die Röhre p p gebracht werden kann, und obgleich das Wasser in der Pumpe, bei Fig. 96. erklärt ist, keine Verdichtung erleiden kann, um eine neue Wassermenge in die Steigeröhre einzulassen, ohne ihren ganzen Inhalt in Bewegung zu setzen, so beseitigt doch die Anbringung eines Windkessels diese Schwierigkeit; denn jetzt wird die neue Wassermenge nicht in eine frühere Quantität unelastisches Wasser gebracht, sondern in ein Luftgefäß, dessen Luft eine Veränderung der Dimensionen leicht gestattet, und während der Stämpel i Fig. 99. steigt und kein Wasser treibt, so hat die vorhin in n verdichtete Luft Zeit, sich wieder zu ihrem natürlichen Volum auszudehnen, indem sie eine entsprechende Menge Wasser die Röhre p p hinauftreibt, und so kann, wenn der Windkessel weit genug ist, ein beständiger und gleichmäßiger Strom unterhalten werden.

Fig. 100. zeigt die andere Form der Druckpumpe, wiewohl diese Einrichtung gemeinlich die Hebe- und Druckpumpe heißt. Ihre Einrichtung ist dieselbe wie in der zuletzt beschriebenen Figur, ausgenommen daß der Stämpel nicht massiv, sondern durchbohrt ist, und eine Klappe hat, die sich wie bei der gemeinen Hebepumpe aufwärts öffnet; die Stämpelstange q bewegt sich luftdicht durch eine Schlußbüchse oder einen ledernen Kragen oben auf dem Stiefel, der solchergestalt geschlossen ist, und die Seitenausleerungsröhre nebst dem Luftgefäß geht von dem Obertheil statt vom untern des Stiefels aus. Diese Pumpe hat nicht nur die Schlußbüchse, sondern drei Ventile statt der zwei in der vorigen. Sie ist folglich um vieles verwickelter und kostspieliger in der Einrichtung, ohne einen andern Vortheil als den, daß sie sauberer in ihrer

Wirkung ist; denn wenn der Stämpel der vorigen Pumpe nicht ganz wasserdicht ist, so kann eine Quantität Wasser oben über den offenen Stiefel fließen, was bei dieser Pumpe nicht der Fall seyn kann, wenn sie gut gemacht ist. Bei der Wirkung ist fast einerlei, denn diese letzte Pumpe hebt das Wasser durch die Saugeröhre h durch die Erhebung des Stämpels i; bei'm Herabdrücken des Stämpels geht dieß Wasser durch ihn vermittelst der Klappe, und gelangt darüber, um den Obertheil der Pumpenröhre zu füllen; bei'm Wiederaufsteigen des Kolbens wird das Wasser, weil es nicht im Stande ist, oben aus der Pumpenröhre wegen dem Deckel und der Schlußbüchse x zu entkommen, die Seitenröhre l hinauf in den Windkessel n gedrückt, und geht von da durch die Steigeröhre p, wie oben, fort. Die erste Pumpe hebt das Wasser durch das Niedergehen, und diese durch das Aufziehen des Kolbens; allein dieß ist leicht zu ändern, wenn es nöthig ist, wenn man einen Hebel der ersten, statt der zweiten Art nimmt.

Der Luftbehälter (Heronsball) in Fig. 99. unterscheidet sich gleichfalls von dem in Fig. 100, weil die Lieferungsröhre p des ersten durch den Obertheil, und die letzte durch den Untertheil des Luftgefäßes geht, allein beide heben nahe am Boden an, und in beiden Fällen wird, wenn das Wasser bis zu der punktirten Linie o o gestiegen ist, so daß es das untere Ende dieser Röhre bedeckt, die Luft eingeschlossen, und ihre Wirkungen müssen einerlei seyn. Der Windkessel muß rücksichtlich seiner Weite der Größe der Pumpe oder der Pumpen, die Wasser in ihn liefern, angemessen seyn (denn man macht oft mehrere Pumpen, die sich in einen gemeinschaftlichen Windkessel öffnen), und muß auf jeden Fall wenigstens sechs oder acht Mal das Volumen des Stiefels enthalten, damit die zunehmende Ausdehnungskraft der Luft keinen Einfluß auf die Bewe-

gung des Kolbens während einem einzelnen Zuge haben könne; allein hierüber kann man keine genaue Regel geben, indem die relativen Dimensionen den Umständen gemäß verschieden seyn können. Diese Druckwerke mit Windkesseln sind jetzt sehr allgemein bei Anstalten zu Wasserleitungen für Städte angenommen, und die Höhe, bis zu welcher das Wasser zu irgend einer Zeit geliefert wird, kann man, wenn der Windkessel groß und die Versorgung gleichmäßig ist, ziemlich genau berechnen, wenn man den Grad der Verdichtung der darin enthaltenen Luft untersucht. Dieß geschieht sehr bequem mittelst eines Verdichtungsmessers, welcher aus einer Glasröhre mit verschlossenem Oberende besteht, und welchen man mittelst eines Hahns am unteren oder demjenigen Theile des Windkessels anbringt, der immer mit Wasser gefüllt ist; sonach zeigt r s, Fig. 99. solch eine Röhre, und da sie eine offene Communication mit dem Luftbehälter hat, wenn der Hahn offen ist, so wird die Luft im Obertheil dieser Röhre eben dieselbe Verdichtung erleiden, als die im Kessel. Die Höhe des Raums, den die Luft in der Röhre einnimmt, muß gemessen werden, und während die Luft bei gewöhnlicher Dichtigkeit eine 33 Fuß hohe Wassersäule balancirt, so wird eingeschlossene Luft, wenn sie das Gewicht von solch einer Säule zu tragen hat, auf die Hälfte ihres vorigen Umfangs zusammengedrückt oder verdichtet. Wenn also die in der Röhre r enthaltene Luft auf die Hälfte ihres ersten Volums vermindert wird, so muß die Verdichtung innerhalb dem Luftgefäß zwei Atmosphären gleich seyn, oder, was einerlei ist, das Wasser in der Röhre p p muß in der Elevation von 66 Fuß stehen. Wenn das Wasser in p p zu drei Mal 33 oder 99 Fuß gehoben ist, so muß die Verdichtung in dem Luftbehälter drei Atmosphären gleichkommen, und die Luft darin, so wie in der Visirröhre wird auf $\frac{1}{3}$ ihres ur-

sprünglichen Umfangs vermindert werden. Ein Viertel der Umfangsgröße zeigt 4 Atmosphären der Verdichtung an, und kömmt der Erhöhung der Wassersäule auf 122 Fuß gleich, u. s. w., mehr oder weniger, wie dieser Barometer sich ändert.

Die Feuerspritze zum Löschen des Feuers besteht nur aus zwei Druckpumpen von der Einrichtung wie in Fig. 99., die in einen gemeinschaftlichen Windkessel wirken, der zwischen ihnen liegt, und aus dem die Spritzröhre, um das Wasser auf's Feuer zu leiten, abgeht. Die Griffstangen sind so eingerichtet, daß, während der Kolben der einen Pumpe oben, der der andern unten ist, und sind verlängert, damit eine große Anzahl Menschen zu gleicher Zeit daran arbeiten können, um eine sehr große Menge Wasser fortzutreiben, was durch die Thätigkeit des Windkessels in eine anhaltende Strömung gesetzt wird. Es ist seltsam, daß die älteste Wasserpumpe, die wir kennen, nämlich die von Ctesebes, wenigstens so weit sie uns bekannt ist, der jetzigen Feuerspritze so genau gleichkömmt; denn sie besteht aus zwei Druckpumpen, die auf eben beschriebene Art eingerichtet sind, aber statt ihren Inhalt in einen Windkessel auszuleeren, ihn bloß in eine dichte Cisterne, die dazwischen liegt, bringen, woraus das Wasser durch eine senkrechte Röhre in die Höhe steigt, und wobei nichts als die Luftverdichtung fehlt (vergl. *Ctesebes's* Pump, in Dr. *Hutton's* Mathemat. Dictionary, Vol. II. p. 304). Es muß indeß bemerkt werden, daß beide Pumpen in Fig. 99. und 100. ohne ihre respectiven Luftbehälter Druckpumpen seyn würden, und obgleich sie mit ihnen gleichmäßiger und vortheilhafter wirken, öfters ohne diese nützlichen Zusätze gemacht werden.

Ehe wir den Gegenstand der Pumpen schließen, ist die Beschreibung von einer noch nöthig, die die Erfindung

von de la Hire ist, und die die Wirkung von 2 Pumpen nur bei der Reibung von einer einzigen hervorbringt; denn sie ist eine Hebe- (Saug-) und Druckpumpe, die eine gleiche Wassermenge bei ihrem Auf- und Niederzug hebt. Sie ist nur wenig in Gebrauch, und wenn man ihre Vortheile erwägt, so ist es zu verwundern, daß sie nicht öfterer angewandt ist. Deren Durchschnitt ist abgebildet in Fig. 101, wo t t die Pumpenröhre, worin der massive Kolben v sich auf und nieder bewegt, u die Saugröhre, und w die Klappe auf derselben ist; x ist eine Seitenröhre, die aus dem Boden der Pumpenröhre aufwärts geht, und sich in den Untertheil des Windkessels y endigt; diese Endigung ist durch ein Ventil verschlossen, das sich aufwärts in den Windkessel öffnet, aus dem das Ausflußrohr z führt. In soweit gleicht diese Pumpe genau der, die in Fig. 99 abgebildet ist, sowohl nach Bau, als Wirkung; allein in dieser Pumpe ist der Pumpenstiefel t t, statt oben offen zu seyn, mit einem Deckel verschlossen, und die Kolbenstange a a bewegt sich luftdicht durch die Schlußbüchse b, folglich wenn der Kolben hinabgedrückt wird, um das Wasser aus dem unteren Theile des Pumpenstiefels in den Windkessel durch die Röhre x zu treiben, so wird ein leerer Raum im Obertheile des Stiefels gebildet, und dieser wird durch eine zweite Saugröhre c, die auch in den Brunnen hinabgeht, und sich in eine Höhlung e mit der Schlußklappe d erweitert, mit Wasser versehen; der Obertheil dieser zweiten Saugröhre öffnet sich oben in den Pumpenstiefel über der größten Höhe, zu der der Kolben hinaufsteigen kann, und so wird durch sein Niedersteigen der Theil des Stiefels, der über dem Kolben ist, völlig mit Wasser gefüllt, während sich der untere Theil desselben ausleert; und wenn der Kolben wieder aufsteigt, so wird alles Wasser, das darüber an-

gehäuft ist, die Röhre f hinauf und in denselben Windkessel getrieben. Die Röhre f ist gleichfalls an ihrem Oberende mit einer Klappe versehen, die sich aufwärts öffnet, um den Rücktritt des Wassers zu verhüten, wenn der Kolben niedersteigt, und so wird durch die Wechselthätigkeit eines einzigen Kolbens, der sich in einem Pumpenstiefel bewegt, die völlige Wirkung von zwei Pumpen hervorgebracht.

Da, wenn eine Pumpe gut gemacht und gut im Stande ist, es unmöglich ist, daß sich ihr Stämpel bewegen kann, ohne das Wasser darunter oder darüber aus der Stelle zu treiben, je nach Beschaffenheit der Einrichtung, so ist bei allen Pumpen, die aus cylindrischen Pumpenstiefeln und Kolben bestehen, nichts weiter nöthig, um die Menge Wasser, die sie liefern, auszumitteln, als den körperlichen oder kubischen Inhalt der Pumpenröhre, worin das Vacuum gemacht wird, zu berechnen, denselben auf irgend ein Normalgefäß zu reduciren, und dann mit der Anzahl von Zügen in einer gegebenen Zeit zu multiplicieren. Hat sonach eine Pumpe 9 Zoll im Durchmesser, und macht sie einen effectiven Zug von etwa 18 Zollen, so findet man, daß ein solcher Cylinder etwa 1,134 Kubikzolle enthält, und da 282 Kubikzoll eine Gallone ausmachen, so kommen 4 Gallonen 1,128 Kubikzollen gleich, mithin enthält und wirft ein solcher Pumpenstiefel noch über 4 Gallonen bei jedem Zuge aus, und angenommen, daß diese Pumpe 10 Züge in einer Minute mache, so wird sie 40 Gallonen in einer Minute geben, oder 60 Mal diese Menge in einer Stunde ꝛc. Diese Regel paßt überhaupt, das Wasser mag zu einer geringen oder großen Höhe getrieben werden, weil sich der Kolben nicht bewegen kann, ohne das Wasser im Stiefel fortzubewegen, allein man muß ein Weniges für Wegrinnen und Verlust

abrechnen, weil immer etwas Wasser an dem Kolben oder sonst verloren geht.

Diese Berechnung gilt, wie vorhin bemerkt ist, nur für solche Pumpen, die cylindrische Pumpenstiefel und Kolben haben, allein zuweilen werden die Pumpen anders gemacht, wie z. B. Bramah's Feuerspritze, und die excentrische Pumpe. Bei der ersten dieser Vorrichtungen ist die Pumpenröhre, statt ein ganzer, ein halber Cylinder, und liegt horizontal, während ein Parallelogramm von einerlei Radius und Länge mit dem Halbcylinder, die Stelle eines Kolbens vertritt; dieß bewegt sich mittelst einer Eisenstange, die durch seine Axe geht, und an ihren äußeren Kanten gehörig schließt, und seiner Handhaben durch etwa 170 Grade, indeß seine äußern Kanten mit der innern Wandung und den Enden des Halbcylinders in Berührung bleiben; und zwei Versorgungsklappen und zwei Ausflußklappen befinden sich auf dem flachen Obertheile oder Dekkel des Ganzen. Diese Pumpe ist in der Wirkung einerlei mit der zuletzt beschriebenen von de la Hire, obgleich in der Form ganz verschieden, und ihre Wirkungsart ist mit der der excentrischen Pumpe sehr nahe verwandt, von der ein Durchschnitt in Fig. 102 gezeigt ist. Sie besteht aus einer hohlen Trommel oder Cylinder von Metall a d, in dessen Innern ein massiver Cylinder b sich befindet, der dieselbe Länge, aber nur die Hälfte des Durchmessers oder ungefähr die Hälfte hat, und sich um seine Axe dreht, die vermittelst wasserdichter Schlußbüchsen durch die Seiten des größern und äußern Cylinders geht. Der innere Cylinder bewegt sich nicht in der Mitte des großen Cylinders, sondern liegt so, daß ein Theil von seinem äußern convexen Rande mit einem einzigen Theile der concaven oder innern Fläche des größern Cylinders in dichte Berührung kommen kann, wie in der Figur gezeigt ist;

und die äußere Fläche des kleinen Cylinders ist mit vier Metallklappen oder Ventilen versehen c c c c, die sich in Angeln drehen, und eben so gerändet sind, so daß, wenn sie verschlossen sind oder anliegen, sie nicht hervorragen, sondern Theile desselben Cylinders zu seyn scheinen. Diese Klappen öffnen sich entweder durch unterhalb angebrachte Federn, oder, was noch besser ist, durch zwei Kreuzdrähte, die durch den innern Cylinder auf die Weise hin und hergleiten, daß sie sich genau im Mittelpunct durchkreuzen, wodurch ihre Wirkung in jedem Theile der Umdrehung gleichmäßig gemacht wird. Wegen der Einrichtung dieser Maschine wird, wenn eine dieser Klappen durch die Umdrehung des innern Cylinders zwischen denselben und den äußern Cylinder gebracht wird, sie fest zugedrückt und geschlossen, aber sowie sich der innere Cylinder weiter bewegt, wird sie in einen sich beständig erweiternden Raum gebracht, bis sie nach a gelangt, der vorhin bemerkten Stelle gegenüber, wo die Höhlung zwischen ihr und dem kleinern und größern Cylinder so zugenommen hat, daß sie ein Vacuum bildet, was durch die Saugröhre e mit Wasser gefüllt wird. Kaum ist aber diese Höhlung am höchsten erweitert, so wird sie auch durch fortgesetztes Umdrehen vermindert, wodurch das Wasser, eingeschlossen und in geringern Raum gedrückt, durch die Auslaufröhre f entweicht, und da jede Klappe nach der Reihe dieselbe Operation macht, so giebt diese Pumpe eine sehr gleichmäßige und anhaltende Wasserlieferung. Die größte Schwierigkeit im Bau dieser Pumpe ist, die Seiten der Klappen so schlußdicht zu erhalten, daß sie in vollkommener Berührung mit den Wandungen des großen Cylinders bleiben, ohne unnöthige Reibung zu machen, ein Fehler, den sowohl Bramah's Feuerspritze, als alle excentrische Pumpen und sämmtliche rotatorische Dampfmaschinen, die bis jetzt er-

funden sind, gemein haben, wie weiterhin besonders gezeigt werden wird. Die excentrische Pumpe ist ein Hebe- (Saug-) und Druckwerk, indem sie das Wasser zu einer unbestimmten Höhe über ihre Pumpenröhre bringt. Um die Kraft zu bestimmen, die zur Bethätigung von jeder Art Pumpen nöthig ist, muß immer die Höhe angeschlagen werden, zu der das Wasser gehoben werden soll; denn nach dem, was oben angenommen ist, giebt diese Höhe mit der Grundfläche des Kolbens multiplicirt, und auf ein gewöhnliches Gewicht reducirt, den Betrag des zu bezwingenden Widerstandes (die Reibung der Pumpe nur ausgenommen). Die Weite der wasserhaltenden Röhre ist ganz unwesentlich, wie oben bemerkt ist, vorausgesetzt, daß sie groß genug ist, um Reibung und eine unnatürliche Geschwindigkeit im Wasser zu verhüten, und die ganze perpendiculäre Höhe von der Oberfläche des zu hebenden Wassers bis zu dem Puncte, wo es ausgeleert wird, diese mag nun von der Versorgungs- oder Saugröhre, oder dem Ausgußrohr aus einer Druckpumpe eingenommen seyn, muß zusammen addirt und als die Steigehöhe betrachtet werden; wenn also eine Hebe- und Druckpumpe von 4 Zoll Durchmesser im Stiefel eine 10 Fuß lange und 3 Zoll starke Saugröhre unter dem Kolben, und eine 20 Fuß lange und 4 Zoll starke Ausgußröhre (mit Einschluß der Länge des Stiefels) hat, so wird die zu hebende Säule einer mit Wasser gefüllten Röhre von 30 Fuß Länge und 4 Zoll Stärke gleichkommen. Der enthaltene Betrag in Gallonen von 30 Fuß zu 4 Zoll Röhre muß also nach obiger Anleitung gefunden werden (S. 246.), und da jede Gallone Wasser etwa 10,2 Pfd. wiegt, so läßt sich das auf die Pumpe lastende Gewicht sogleich finden, wozu man noch $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{6}$ je nach der Einrichtung der Pumpe, für die Reibung addiren muß. Die Beschwerung einer excentrischen oder je-

der andern Pumpe kann nach derselben Regel gefunden werden, wenn die horizontale Grundfläche des Kolbens, oder was statt seiner dient, gefunden ist, und diese auf gleiche Weise mit der Steigehöhe multiplicirt wird.

Außer den obbeschriebenen Pumpen giebt es noch andere Maschinen zum Wasserheben, die durch Bethätigung gewisser natürlicher Eigenschaften der Flüssigkeiten, als Schwerkraft, Centrifugalkraft, Moment ꝛc. wirken. Die Ungarische Maschine, oben S. 182 angemerkt, kann als Beispiel der ersten Art, und die Centrifugalpumpe und der Wasserwidder der zweiten dienen. Die Centrifugalpumpe hat mancherlei verschiedene Formen, und nach der bereits gegebenen Erklärung der Centrifugalkraft wird man die Grundsätze ihrer Einrichtung leicht einsehen. Z. B. wenn g h, Fig. 103. eine aufrechte Spindel vorstellt, die so steht, daß sie durch die Kurbel i in eine schnelle drehende Bewegung gesetzt werden kann, und k m k m irgend eine Anzahl von gebogenen Röhren darstellen, deren jede unten eine sich aufwärts öffnende Klappe hat, und die so stehen und mit der Spindel verbunden sind, daß ihre untersten Enden nahe an derselben befindlich und von dem zu hebenden Wasser bedeckt sind, wobei ihre ganz offenen Oberenden sich beträchtlich von dem Mittelpunkt der Bewegung abbiegen, und sich zuletzt niederkrümmen, um das Verspritzen des Wassers zu verhüten, so macht solch eine Maschine eine wirksame Pumpe aus. Denn wenn die verschiedenen gekrümmten Röhren mit Wasser gefüllt sind, was in ihnen durch die Bodenklappen gehalten wird, und dann durch Drehen der Kurbel in schnelle Bewegung gesetzt werden, so beschreiben die obern Enden m einen viel größern Kreis, als die untern Enden, und sonach wird eine solche Centrifugalkraft, oder Neigung zu entfliehen und die Röhren zu entleeren, in den obern Enden entstehen, die

ein Vacuum macht, was im Stande ist, eine Wassersäule von beträchtlicher Höhe über den Behälter zu heben. Man kann jede Anzahl von Röhren rings um die Spindel anbringen, um die Wirkung der Pumpe zu verstärken, und die untern Enden derselben können sich in ein gemeinschaftliches Behältniß öffnen, was wasserdicht ist, und eine einzige große sich nach innen öffnende Klappe hat, um so die sämmtlichen Röhren mit Wasser zu versorgen, statt an jeder Röhre eine besondere Klappe anzubringen; 111 ist ein kreisförmiger Trog oder Kasten, in den alle Röhren mit ihren Oberenden gehen, und das Wasser sich ergießt, was durch ein Laufrohr in n abfließt.

Der Wasserwidder oder Bélier hydraulique, wie ihn sein Erfinder M. Mongolfier zu Paris nannte, ist eine höchst nützliche und einfache Maschine, um Wasser ohne jeden andern Kraftaufwand zu heben, als die durch das Moment oder die Bewegungskraft hervorgebracht wird, die einem Theil des zu hebenden Wassers mitgetheilt ist; und mag die Erfindung durch Zufall gemacht oder das Resultat der Ueberlegung seyn, so bleibt sie doch eine der einfachsten und wahrhaft physikalischen Maschinen, deren sich die Hydraulik rühmen kann. Die Wirkung dieser Maschine beruht ganz auf dem Moment, oder der neuen Kraftsumme, die entsteht, wenn ein Körper in Bewegung gesetzt ist, und die Wirkung davon ist so groß, daß sie dem Apparat den Anschein giebt, als wirke er gegen die bestehenden Gesetze des hydrostatischen Gleichgewichts; denn eine bewegte niedrige Wassersäule bezwingt und setzt eine andere bei weitem höhere Säule in Bewegung. Eine Operation, die in der Wirkung dem Wasserwidder sehr ähnlich ist, und die zu ihrer Erklärung dienen kann, findet man in jedem Hause, was durch eine beträchtlich hoch liegende Cisterne mit Wasser versorgt wird, und zwar durch eine von oben

in ein unteres Zimmer gehende Röhre, die sich in einen Hahn endigt. So lange das Wasser im ruhigen Zustande ist, ist Hahn und Röhre vollkommen stark genug, dem Drucke des Wassers zu widerstehen, öffnet man aber den Hahn, um das Wasser fließen zu lassen, und verschließt ihn plötzlich wieder, so wird die Kraftzunahme in Folge dieser Bewegung durch das Getöse und die Erschütterung bemerklich, die man immer in der Röhre auffallend bemerkt, und die sie sogar sprengt, wenn das Wasser hoch genug steht. Dieser Umstand, sagt man, gab Gelegenheit zur Erfindung des Wasserwidders (S. Quarterly Journ. of Science and the Arts, Vol. I. p. 211), dessen Form und Einrichtung in Fig. 104. gezeigt ist. Man nehme an, o sey eine Cisterne oder ein Behälter, oder ein Quell, der beständig überfließt und wegläuft und zwar durch eine Rinne, die ein paar Fuß niedriger liegt, als er selbst, wie in der Horizontallinie p p. Statt das Wasser über die Ränder von o laufen zu lassen, leite man es zu der Richtfläche p p, mittelst eiserner oder anderer Röhren q q, die mit der Seite des Behälters verbunden sind, und sich in eine Mündung r endigen, worin ein konisches oder anderes Ventil s so sitzt, daß es die Röhre dicht verschließt, wenn es aufwärts gezogen ist; t ist ein Gewicht, was auf der Spindel der Klappe s befestigt ist, wodurch die Klappe nieder- und offen gehalten wird. Alles Wasser also, was in dem Behälter o ist, fließt die Röhre q q nieder, und entweicht durch die Mündung r, so lange als die Klappe nieder bleibt, aber in dem Augenblick, daß sie in die Höhe geht und sich verschließt, wird alle Bewegung des Wassers aufgehoben. In dieser Lage muß die Bestimmung des Gewichts t geschehen, und durch Zugabe oder Abnahme davon muß es so schwer gemacht werden, daß es gerade im Stande ist, den nach oben ge-

richteten Druck des Wassers zu überwinden, dessen Kraft von der senkrechten Höhe der Wasserfläche in o bis zum Ausgußpuncte in r abhängt (wie die Länge der punctirten Linie o v zeigt); folglich, wenn die Klappe t mittelst der Hand oder sonst in die Höhe gehoben wird, hört alle Bewegung des Wassers in der Röhre q q auf, aber sobald die Klappe losgelassen wird, so fällt sie nieder und läßt das Wasser ausfließen. Das Wasser gewinnt durch die Bewegung Moment oder neue Kraft, und steht folglich der Säule o v, für die die Klappe eingerichtet ist, nicht länger gleich, sondern ist stärker, wodurch es im Stande ist, den Widerstand des Gewichts t zu überwältigen, und es hebt es nebst der Klappe auf, und schließt die Mündung r. Sobald dieß geschehen ist, wird das Wasser gezwungen, wieder still zu stehen, wodurch die Kraftzunahme verloren geht, und die Klappe und das Gewicht werden abermals überwiegend und sinken, indem sie so die Mündung wieder öffnen und dem Wasser neue Bewegung gestatten, und da der Druck des Wassers und das Gewicht der Klappe eins um's andere überwiegt, so wird die Klappe in beständiger Bewegung gehalten, d. h. sie öffnet und schließt sich ohne irgend eine äußere Hülfe. Nach diesem Princip geschieht die Bewegung des Wassers in der Röhre q q, aber die hervorgebrachte Kraftzunahme kann nicht sogleich vernichtet werden, und sie ist nicht nur stark genug, die Klappe s zu heben, sondern zugleich das untere Ende der Röhre q q aufzutreiben, wenn nicht für einen hinlänglichen Abzug gesorgt ist, wodurch diese angehäufte Kraft entweichen kann. Sonach ist eine zweite Klappe u neben dem Unterende dieser Röhren angebracht, die sich nach oben in einen Windkessel w, nebst einer Ausgußröhre öffnet, wie bei Gelegenheit der Druckpumpen beschrieben ist, und mithin, wenn die Klappe s verschlossen ist, so öff-

net das Wasser, was sonst aus der Oeffnung x geflossen seyn würde, jetzt die Klappe u und tritt in den Windkessel w, bis die Elasticität der enthaltenen Luft die allmälig abnehmende Momentskraft überwältigt, da sich denn die Klappe u schließt, und die in s öffnet, um dem Wasser einen zweiten Stoß oder Schlag zugestatten; und auf diese Weise dauert die Thätigkeit der Maschine unaufhörlich fort, ohne irgend eine äußere Hülfe, so lange als sie mit Wasser versehen wird, und im Stande bleibt. Für diese Maschine ist ein kleines Fließwasser nothwendig, indem das Wasser in o immer in derselben Höhe erhalten werden muß, um sich der völligen Wirkung zu versichern. Eine weit größere Wassermenge geht auch in der Mündung r zwischen den Stößen fort, als in der Ausgußröhre x gehoben werden kann, besonders wenn sie bedeutend hoch ist; denn die verhältnißmäßige Wassermenge, die durch x ausgeleert wird, und in r verloren geht, muß immer von der verhältnißmäßigen Höhe der drückenden Säule o v, und der ausgeleerten oder widerstrebenden Säule w x abhängen, sowie auch die Geschwindigkeit der Stöße von denselben Umständen abhängt. Eine sehr unbedeutende drückende Säule o v kann indeß eine sehr hohe steigende Säule w x heben, so daß man in fast jedem fließenden Bache einen hinlänglichen Fall erhalten kann, wenn man das obere Ende aufdämmt, so daß der Behälter o entsteht, und wenn man die Röhren q q in dem natürlichen Bette des Stroms niederführt, bis ein zureichender Fall gewonnen ist; denn je größer die Länge der niedergehenden Röhren von o nach r ist, desto sicherer ist die Wirkung der Maschine, indem, wenn die Säule q q nicht lang genug ist, ihr Wasser in den Behälter zurückgeworfen wird, statt in das Luftgefäß zu kommen. Der Verfasser hat mehrere Maschinen dieser Art in verschiedenen Gegenden von England zu großer Zu-

friedenheit gebaut, und fügt, um ihre Wirksamkeit zu zeigen, folgende nähere Beschreibung von einer derselben bei, die seit etwa 2 Jahren beständig im Gange gewesen ist. Der Behälter o ist ein Becken von etwa 10 Fuß in's Gevierte und 2 Fuß Tiefe, und besteht theils aus Kalkstein und theils aus Backstein; die Wasserversorgung kömmt aus einem natürlichen Quell. Die Röhre q q ist von Gußeisen, und 38 Fuß lang und hat 2 Zoll im Durchmesser. Das Stück am Ende, was die Ventile und das Luftgefäß enthält, ist etwa 15 Zoll lang. Die Ventile sind von Messing, und jedes hält $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser. Der Gehalt des Luftgefäßes ist etwa 1 Gallone, die Höhe von der Oberfläche des Wassers in o bis zu seinem Ausgußpunkt in t ist 6 Fuß 4 Zoll senkrecht gemessen. Die Ausgußröhre x ist von Blei, 1 Zoll im Durchmesser, und geht waagerecht unter dem Boden etwa 104 Fuß fort, und dann steigt sie senkrecht zu der Höhe von 54 Fuß 3 Zoll über der Ausleerungsklappe in r, wo sie das Wasser in eine große Cisterne ergießt. Das Wasser wird sonach 47 Fuß 11 Zoll über die Oberfläche der versorgenden Quelle gehoben, und dieß nur durch einen Fall von 6 Fuß 4 Zoll. Unter diesen Umständen macht die Klappe s in einer Minute 50 Bewegungen oder öffnet sich 50 mal, wobei sie etwa 2 Quart Wasser verliert, und bei jeder Bewegung fast ein Viertel Nößel in die hochliegende Cisterne wirft, so daß sich das verlorne Wasser zu dem aufgepumpten fast wie 17 zu 1 verhält. Dieß könnte eine kleine Wassermenge scheinen, wenn man aber bedenkt, daß die Maschine Tag und Nacht in einem fort arbeitet (wenn sie nicht absichtlich aufgehalten wird), und jede Minute 6 Quartier Wasser liefert, so wird man diese für den größten Haushalt ausreichend finden.

In einem andern Falle gab eine Maschine von gleicher Größe die Minute 7 Quartier in einen Behälter von 20 Fuß 6 Zoll über dem Wasserwidder, wobei der Fall in den Röhren q q 6 Fuß betrug.

Diese einfache und hübsche Maschine ist in England lange bekannt, aber eben nicht in Gebrauch gewesen. Math. Boulton von Soho bei Birmingham erhielt 1797 ein Patent darüber (S. Repertory of Arts, Vol. IX. p. 145. 1. Ser. wo die Specification weitläuftig mitgetheilt ist), und ein Wasserwidder von beträchtlicher Größe ward zu der Zeit eingerichtet, um sein Haus mit Wasser zu versorgen. Man fand indeß die Maschine so wie sie zuerst eingerichtet war und oben beschrieben ist, nicht entsprechend, weil durch die wechselseitige Vereinbarung, die zwischen Luft und Wasser statt hat, die nach und nach in den Windkessel getriebene Wassermenge die sämmtliche in demselben enthaltene Luft absorbirte, und er ganz mit Wasser angefüllt wurde, so daß die Elasticität, die zur Thätigkeit der Maschine durchaus nöthig ist, aufhörte. Dieß ward auch von Mongolfier in Frankreich entdeckt, der 1816 ein Englisches Patent für seine Verbesserung dieser Maschine erhielt, indem er eine sehr kleine Zugklappe, die sich nach innen öffnet, in den untern Theil des Windkessels brachte, die aber durch eine kleine Feder verschlossen gehalten wird. Diese Klappe ist selbstthätig, und verhütet wirksam jedes Entweichen der Luft oder des Wassers aus dem Luftgefäß, aber wenn das Wasser durch das Zuschließen der Klappe s Fig. 104. zurückgeworfen wird, so entsteht ein augenblicklicher leerer Raum am äußersten Ende der Röhre q, worauf sich die Zugklappe öffnet, und eine hinlängliche Menge von äußerer Luft in das Luftbehältniß läßt, um es beständig voll zu halten, und durch diesen einfachen Zusatz ist der Was-

ſerwidder anhaltend wirkſam gemacht. Leider iſt das Engliſche Patent des Hrn. Mongolfier unnütz, weil er alle die Punkte ſeiner Verbeſſerungen in den Annales des Arts etc. in Frankreich hatte bekannt machen laſſen, und die Ueberſetzung der Abhandlung dem Britiſchen Publicum in einem unſerer periodiſchen Journale (Repertory of Arts, 20. Ser. Vol. 23. p. 315) über drei Jahr vor ſeiner Bemühung um das ausſchließliche Privilegium, mitgetheilt wurde. — Derſelbe Fehler findet in allen Pumpen und Maſchinen ſtatt, bei denen ein Luftbehältniß angebracht iſt, beſonders wenn die Luft einem großen Druck ausgeſetzt wird, und daher ſollte eine kleine Oeffnung, die ſich verſchließen, oder durch einen Hahn, oder eine Schraubenklappe richten läßt, an der Saugröhre jedes Druckwerks, das mit einem Windkeſſel verbunden iſt, gemacht werden, um die Pumpe in den Stand zu ſetzen, ſoviel Luft in den Windkeſſel zu ziehen und zu bringen, als genau der Abſorption entgegenwirkt, was ſich leicht durch Verſuche beſtimmen läßt.

Die Hydraulik betrachtet nicht nur den Bau und die Thätigkeit der Maſchinen, um Waſſer über ſeine Höhe zu heben, wie ſie zuletzt beſchrieben ſind, ſondern auch die Mittel, wodurch Bewegung und Kraft aus der Beweglichkeit und andern Eigenſchaften der Flüſſigkeiten gewonnen wird. Sonach muß eine kurze Ueberſicht der mancherlei Mühlen- oder Waſſerräder und anderer Erfindungen, wodurch der Maſchinerie Bewegung gegeben wird, den Beſchluß des gegenwärtigen Abſchnitts ausmachen.

Gemeinlich wird vom Waſſer Bewegung erlangt, indem man entweder ſeinem Laufe Hinderniſſe entgegenſetzt, oder in beweglichen Eimern oder Behältniſſen, die es während eines Theils ſeines Niederfließens zurückhalten, ihn

hemmt. Wenn wir daher annehmen, daß die Thätigkeit des Rades in Fig. 92. gerade das Gegentheil von der beschriebenen sey, nämlich statt daß die Eimer n o p, das Wasser aus dem Strome r r erhalten, und in die erhöhete Cisterne s ausleeren, wir annehmen, die Cisterne s würde durch den Strom versorgt, und daß die verschiedenen Eimer o o o n durch die Cisterne gefüllt, statt bei dem Vorübergange ausgeleert würden, so wird die Seite o o o des Rades durch das Gewicht des sämmtlichen Wassers in den Eimern schwerer werden, als die entgegengesetzte Seite q q q, an der die Eimer angenommenermaßen noch leer bleiben. Die Folge davon wird seyn, daß sich das Rad in der Richtung von p o n umdreht, und wenn die Eimer q q gefüllt werden, so wie sie oben hinkommen, und die in n n durch irgend eine Vorrichtung ausgeleert werden, wenn sie den Boden erreichen, so wird die Bewegung eines solchen Rades anhaltend, und es dreht sich mit einer Kraft und Geschwindigkeit, die von dem Gewicht der Wassereimer, der Entfernung derselben vom Centrum, und der Geschwindigkeit, womit sie gefüllt werden, abhängt: eine solche Einrichtung kömmt indeß einem überschlächtigen Wasserrade sehr nahe, das wir jetzt beschreiben wollen.

Wasserräder werden nach ihrem eigenthümlichen Bau, nach der Weise, in der sie gebraucht werden, und nach der Weise, wie das Wasser auf sie einwirkt, benannt, aber alle Wasserräder bestehen aus einem hohlen Cylinder (oder Kranz), der sich um eine Centralaxe oder Spindel (Welle) dreht, von welcher die benöthigte Kraft mitgetheilt wird, während seine äußere Oberfläche (Umkreis) mit Schaufeln, Floßbrettern oder Aushöhlungen versehen ist, auf die das Wasser wirkt. So zeigt Fig. 105 die Seitenansicht eines unterschlächtigen Rades, was die gemeinste und bei

weitem die älteste gebräuchliche Einrichtung ist. Da dieses Rad keinen andern Fall des Wassers nöthig hat, als den welcher im Stande ist, eine schnelle fortschreitende Bewegung in ihm hervorzubringen, und da es hauptsächlich durch das Moment des Wassers wirkt, indem dessen absolute Schwere überhaupt kaum in Anschlag kömmt, so wird es nur da anwendbar, wo beständig ein Ueberfluß von Fließwasser ist. Es hat indeß den Vorzug, daß es das wohlfeilste aller Wasserräder ist, und da es keines großen Wasserfalls bedarf, so ist es in Flüssen im natürlichen Zustande brauchbarer als irgend eine andere Radform. Deßhalb ist es vermuthlich zu den Rädern der Wasserwerke unter der Londoner Brücke genommen. Es wirkt auch eben sowohl, wenn das Wasser auf die eine oder auf die andere Seite seiner Schaufeln wirkt, wodurch es besonders in solchen Flüssen, wo bei Ebbe und Fluth der Strom bald in einer Richtung, bald in der entgegengesetzten fließt, anwendbar ist. Es sind indeß einige praktische Nachtheile mit der Form dieses Rades verbunden, besonders wenn es einen zu kleinen Durchmesser hat, denn wenn die Schaufeln strahlenförmig herum stehen, oder nach dem Centrum gerichtet sind, wie a b c d e in Fig. 105., so haben zwar die drei Mittelschaufeln b c d eine vortheilhafte Richtung zum Fließwasser, allein die Schaufel a tritt so schräg in's Wasser, daß sie großen Widerstand im Durchgange findet, während die hinausgehende Schaufel e das Wasser in gleich ungünstigen Umständen verläßt, und einen Theil Wasser vor sich aufwerfen muß, was sehr wesentlich zur Verzögerung der Bewegung und Krafthemmung wirkt. Dieß scheint zum Theil dadurch verhütet zu werden, daß man den Schaufeln eine verschiedene Gestalt giebt oder sie so stellt, daß sie nicht nach dem Mittelpunkt des Rades gerichtet sind, wie in Fig. 106. In diesem Fall

ist die aufsteigende Schaufel f beinahe im rechten Winkel mit dem Wasser zu der Zeit, wo sie es verläßt, und steigt fast senkrecht aus ihm empor, indem sie also in eine viel vortheilhaftere Lage gestellt ist, als in der letzten Figur. Allein wiewohl die hinausgehende Schaufel in dieser Weise verbessert ist, so ist dadurch die eintretende g weit schlechter gestellt, denn jetzt geht sie fast parallel mit der Oberfläche des Wassers nieder, und so geht der an einer Seite des Rades gewonnene Vortheil an der andern verloren. Es scheint indeß, daß es einen kleinen praktischen Vortheil giebt, wenn man die Schaufeln ein wenig aus dem Mittelpunkt neigt, aber dieß muß keineswegs so weit getrieben werden, wie in Fig. 106. Da Wirkung und Gegenwirkung immer einander gleich sind, aber in entgegengesetzten Richtungen, so ist es natürlich einerlei, ob die Kraft des sich bewegenden Wassers auf die Schaufeln eines Rades wirkt, das sich in einem festen Gebäu dreht, oder ob eine äußere Kraft auf die Welle des Rades angebracht wird, um es in stillstehendem Wasser zu bewegen. Im ersten Falle wird die Kraft des Wassers der Axe des Rades mitgetheilt, und ist zum Treiben oder Bewegen von Maschinerie anwendbar; indeß im zweiten Falle die auf die Axe angewandte Kraft an dem stillstehenden Wasser einen Widerstand findet, und dadurch das Gebäude oder Boot, an dem das Rad angebracht ist, zu bewegen in den Stand gesetzt wird; auf diesem Princip beruht die Thätigkeit der Dampfboote, die mittelst der Wasserräder, welche durch die Kraft von auf ihre Wellen wirkenden Dampfmaschinen getrieben werden, fortgehen, statt daß das Wasser die Schaufeln bewegt, und seine Kraft der Radwelle mittheilt.

Sobald jedoch das Gewicht und die Bewegung des Wassers, sowie das Moment desselben benutzt werden kann,

so kann man weit größere Kraft hervorbringen, als die letzt beschriebene Maschine haben kann, und zwar mit einem weit geringern Aufwande von Wasser, weil dann seine größten Thätigkeitskräfte auf einmal in Anwendung gebracht werden; und sonach bringen diejenigen Wasserräder, die man durch die Benennungen von Brust- und überschlächtigen Rädern unterscheidet, eine viel größere Kraft mit einem viel geringern Wasserbedarf hervor, als das bereits beschriebene unterschlächtige Rad. Beide Radarten fordern indeß einen beträchtlichen Fall im Strome, an dem sie liegen, und machen ihn folglich unschiffbar, wenn man nicht zu der Vorrichtung einer Hebeschleuse seine Zuflucht nimmt, wodurch Ruderschiffe und Fahrzeuge von jeder Größe ohne Schwierigkeit und mit sehr geringem Zeitverlust von einem Niveau zum andern gebracht werden können. Das überschlächtige Wasserrad, was vor allen andern die größte Kraft bei dem geringsten Wasserbedarf giebt, fordert einen Fall im Strome, der größer als sein eigner Durchmesser seyn muß, deßhalb pflegt man dieser Art Räder eine größere Breite im Verhältniß zur Höhe zu geben, als allen übrigen, wodurch die Kraft gleich gemacht wird. Bei'm Bau eines überschlächtigen Rades ist die Hauptsache, einen wasserdichten Kranz zu machen, und diesen auf eine paßliche Welle zu bringen. Eine Anzahl von engen Trögen oder Kasten, die (in England) gemeinlich aus dünnen Metallplatten gemacht werden, werden demnächst rund auf den Kranz des Rades befestigt, so daß sie sich im Durchschnitt so ausnehmen, wie in Fig. 107. Das Wasser wird durch eine horizontale Rinne von der Breite des Rades oben auf dasselbe geleitet, wie in h i, und in die Fänge oder Tröge ausgeleert, die um das Rad her liegen, wie in k l. Wegen der Gestalt dieser Fänge halten sie das eingestürzte Wasser so lange, bis sie durch

ihre Bewegung gegen den Punkt l niedergehen, da denn ihre Oeffnungen nach unten gekehrt werden, und ihr Waſſer in den Strom m ausgießen, von wo es weiter läuft. Die Fänge an der entgegengeſetzten Seite n des Rades ſteigen mit den Oeffnungen nach unten gekehrt hinauf, und bleiben leer, bis ſie unter das Ende h der Waſſerrinne gelangen, um wieder gefüllt zu werden. In h iſt eine Schütze oder ein Fallbret, um die Waſſermenge zu richten, und Verſchwendung zu verhüten, denn wenn das Waſſer zu ſchnell fließen dürfte, ſo würde es bei k aus den Fängen plätſchern, ſtatt ſie zu füllen, und würde über die Oberfläche des Rades niederlaufen, ohne ſeine gehörige Wirkung zu thun. Um dieß zu verhüten, läßt man das Waſſer ſelten in einem Strome von mehr als einem halben bis ganzen Zolli n der Dicke laufen, und bei gehöriger Einrichtung geht kaum ein Tropfen Waſſer unwirkſam verloren. Bei Berechnung der Kraft des überſchlächtigen Rades war es vor der Zeit des Hrn. Smeaton üblich, etwas auf das Moment des fallenden Waſſers anzuſetzen, aber dieß muß, wie derſelbe gezeigt hat, nicht in Anſchlag gebracht werden; denn wenn das Waſſer zu raſch fällt, oder von einer zu großen Höhe, ſo plätſchert es nicht nur aus den Fängen, ſondern führt eine Menge Luft und Schaum in dieſelben hinunter, was ihre gehörige Anfüllung hindert. Das überſchlächtige Rad wirkt alſo durch die Schwere oder das Gewicht des in den Fängen enthaltenen Waſſers auf beinahe $\frac{1}{3}$ ſeines Umfangs, und aus den Verſuchen des Hrn. Smeaton, die mit großer Genauigkeit gemacht wurden, erhellt, daß bei einerlei Dimenſionen, Waſſermenge und Höhe des Falls das überſchlächtige Rad die doppelte Wirkung des unterſchlächtigen hervorbringt.

Das Bruſtrad iſt bei weitem das gemeinſte, und kann als ein Mittelglied zwiſchen den beiden beſchriebenen

Arten angesehen werden. Bei diesem wird das Wasser, statt über den Obertheil des Rades zu gehen, oder ganz darunter weg, etwa auf die Hälfte desselben geleitet, oder vielmehr noch unter dem Niveau der Axe, und das Gefälle oder das Backsteingemäuer, worauf das Wasser niedergeht, ist ausgerundet, und der dadurch gebildete Bogen hat mit dem Rade selbst einerlei gemeinschaftlichen Mittelpunkt, so daß es mit den äußern Rändern der Schaufeln, oder mit dem Umfange des Rades parallel steht. Diese Einrichtung ist in Fig. 108. Taf. X. abgebildet, wo o p q eine Seitenansicht des Rades ist, was Schaufeln von einerlei Beschaffenheit wie das unterschlächtige Rad hat; allein statt daß das Wasser auf seinen Untertheil q wirkt, wird es in p mittelst der Schütze r darauf gebracht. Je nachdem diese aufgezogen oder niedergelassen wird, fällt eine größere oder kleinere Wassermenge auf das Rad, und da die Schaufeln so genau als ohne Berührung möglich in die runde Aushöhlung s t des Gemäuers passen, so kann nicht viel Wasser, was durchs Rad geht, entweichen, ohne seine angemessene Wirkung zu thun.

Hr. Smeaton macht in seinen schätzbaren Schriften (Experimental Enquiry concern. the natural powers of Wind and Water to turn Mills and other Machines, by *J. Smeaton*, Vol. I. Lond. 1796), keine Bemerkungen über die Natur der Bruströder, außer daß er annimmt, daß alle Räder, wodurch das Wasser am Niederfallen gehindert wird, als wirkliche überschlächtige Räder betrachtet werden müssen, indem sie je nach der verhältnißmäßigen senkrechten Höhe, von der das Wasser niederfließt, mehr oder weniger Kraft erhalten, indeß alle Räder, die den Druck oder Stoß des Wassers in waagrech-

ter, senkrechter oder schräger Richtung erhalten, als unterschlächtig zu betrachten sind. Das Brustrad gehört zur ersten Art, denn ungeachtet es bloße Schaufeln statt der Fänge hat, so werden doch, da die Radstube mit dem Umfange des Rades concentrisch und nicht nur da, sondern an den zwei Seiten so eng als möglich gemacht ist, um so wirksam, als es geschehen kann, das Entweichen des Wassers zu verhüten, die Räume zwischen den Schaufeln zu Fängen für den Augenblick, und halten das Wasser an, und so wird das Brustrad nicht nur durch das Gewicht des Wassers getrieben, sondern gleichfalls durch das Moment desselben; denn das Wasser ist so eingeschlossen, daß es nicht ausplätschern oder verloren gehen kann, und mithin kann man die durch seine Bewegung erhaltene Kraft zu großem Vortheil anwenden. Trotz diesem anscheinenden Vorzuge steht aber doch das Brustrad weit unter dem eigentlichen überschlächtigen Rade, nicht nur wegen der geringern Höhe, in der das Wasser einwirkt, sondern wegen des Verlustes, der immer damit verbunden seyn muß, selbst wenn es noch so vollkommen gearbeitet ist. In der Praxis findet man, daß das Brustrad gerade etwa doppelt so viel Wasser verlangt, als das überschlächtige Rad zu derselben Wirkung nöthig hat, wenn alle Verhältnisse gleich sind, d. h. wenn der Durchmesser und die Breite des Rades ꝛc. dieselben sind, obgleich sie nach Theorie und Berechnung um vieles größer seyn müßte, denn Lambert und Andere, die über diesen Gegenstand geschrieben haben, suchen zu beweisen, daß die Kraft des überschlächtigen zu der des Brustrades wie 13 zu 5 sich verhalte, aber hierbei wird vorausgesetzt, daß kein Wasser unwirksam entweicht, was in der Praxis völlig unmöglich ist.

Um irgend eins von den obigen Rädern in freien Gang zu setzen, und damit es zum größten Vortheil wirke,

ist es durchaus nothwendig, daß das Schwanz- oder Schweifwasser, wie es genannt wird, oder das, was, nachdem es seine Wirkung gethan hat, unten am Rade ausgeleert wird, einen freien und unbehinderten Abzug hat; denn wenn dieß nicht der Fall ist, so stauet es sich an, und macht einen Widerstand gegen den Durchgang der Schaufeln, und nimmt folglich dem Rade einen großen Theil Geschwindigkeit und Kraft, und dieß oft so sehr, daß es ganz still steht. Eins der einfachsten und wirksamsten Mittel, diesen Uebelstand zu entfernen, ist eben nicht sehr bekannt und im Gebrauch: es besteht darin, daß man zwei Abzüge oder Rinnen durch das Gemäuer an beiden Seiten des Wasserrades macht, von welcher Art dieses auch sey, so daß dadurch ein Theil des Oberwassers in den Schwanz- oder Unterstrom unmittelbar vor dem Rade niederfließen kann. Das so mit großer Heftigkeit niederstürzende Wasser treibt das Schwanzwasser vor sich fort, so daß es eine Aushöhlung bildet, worin sich das Rad ohne Hinderniß bewegen kann, selbst wenn der natürliche Stand des Wassers so wäre, daß es ohne diese Hülfe einen Nachzug von 12 bis 18 Zoll machte. Und da der Nachzug der Mühlenströme bloß dann statt hat, wenn ein Ueberfluß von Wasser da ist, so kann die so aufgewendete Wassermenge, die nicht auf das Rad wirkt, ohne Nachtheile entbehrt werden. Jede Rinne ist an ihrem obern Ende mit einer Schütze versehen, womit man die Menge und Stärke des Wassers nach Gefallen reguliren oder die Rinne ganz zusetzen kann, wenn das Wasser knapp ist.

Diese drei Arten von Wasserrädern sind die einzigen die im allgemeinen Gebrauch sind, und lassen eben keine Verbesserung zu, da das Wesentliche derselben immer dasselbe bleiben muß. Das überschlächtige Rad ist vielleicht

der Vollkommenheit näher gediehen, als die übrigen, und zwar durch die Kunst des Peter Nouaille Esq., der in einer Mühle, die er bei Seven-Oaks in Kent besitzt, die Einrichtung gemacht hat, daß das Wasser oben vom Rade wieder zurückkehrt, statt darüber wegzugehen, und auf diese Weise wird ein weit größerer Theil des Umfangs des Rades in Thätigkeit gesetzt, als es im Durchschnitt der Fall ist *).

Es giebt noch eine Maschine zur Gewinnung von Bewegung und Kraft vom Wasser, die von einem Dr. Barker gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts erfunden wurde, und die unter dem Namen von Barker's Centrifugalmühle allgemein bekannt ist. Bei dieser wirkt das Wasser nicht durch sein Gewicht oder Moment, sondern durch seine Centrifugalkraft, und den Widerstand, den es bei seinem Durchgange durch die Luft findet. Ihre gewöhnliche Einrichtung zeigt Fig. 109., worin v w eine Metallröhre von beträchtlicher Höhe ist, deren Oberende v erweitert oder in eine trichterförmige Gestalt ausgedehnt ist. Die Röhre wird, wie die Figur zeigt, in ihrer vertikalen Stellung dadurch erhalten, daß sie auf einer spitzen Stahlspindel ruht, die sich am untern Ende in einer messingenen Büchse w dreht, indeß der obere Theil eine cylindrische Stahlwelle hat, die oben durch die Holbe y y eines Jochs geht, das sie stützt: die Röhre v w kann sich also frei um ihre eigene Axe drehen, was mit sehr weni-

*) Rücksichtlich anderer Verbesserungen und Abänderungen in der Form und Einrichtung der Wasserräder vergl. die Erfindungen von Besant, Smart, Perkins 2c. in den Trausactions of the Society for the encouragement of Arts, Manufactures, and Commerce.

ger Reibung geschieht. Gegen das untere Ende der Röhre v w und im rechten Winkel zu ihrer Axe sind zwei oder mehrere kleinere Röhren oder Arme, deren äußere Enden verschlossen sind, eingesetzt, wie in z a, und eine Oeffnung an welcher sich stellen läßt, ist an der Seite von jeder dieser kleinen Röhren so nahe an's Ende wie möglich gemacht, und zwar an die entgegensetzten Seiten dieser Röhren, so daß das aus ihnen strömende Wasser horizontal und in entgegengesetzten Richtungen schießen kann, wie z und a zeigen. Das eine Ende einer Röhre b communicirt mit einem Wasservorrath, und bringt das Wasser oben in den Trichter v, ohne denselben an einer Stelle zu berühren, und die Versorgung durch diese Röhre muß vermittelst eines Hahns oder sonst regulirt werden, so daß sie die Röhre u v immer mit Wasser angefüllt erhält, ohne überzulaufen, während die Ausleerung aus den Mündungen z a vor sich geht, die das Wasser mit einer Kraft ergießen, welche mit der senkrechten Höhe der Wassersäule in u v im Verhältniß steht, und da die Oeffnungen z a in entgegengesetzten Richtungen stehen, so findet das Wasser bei seinem Ausströmen solch einen Widerstand von der umgebenden Luft, daß es die Röhre u v mit ihren Armen und Welle x in eine schnelle umwälzende Bewegung setzt, und diese Welle kann ihre Bewegung und Kraft einem Räder- oder Maschinenwerk mittheilen, oder selbst einem Mühlstein, der mit ihrem obern Ende verbunden ist. Diese Maschine wird in fast allen Werken über hydraulische Maschinen beschrieben und viel besprochen, allein es scheint nicht, daß sie in England zur praktischen Ausführung gebracht ist. Dr. Desaguliers erwähnt ihrer mit großen Lobpreisungen, sowie auch Euler, der eine umständliche Beschreibung ihrer Theorie und Wichtigkeit in den Abhandlungen der Berliner Akademie von 1751 giebt,

und mit Bernoulli am Ende seiner Hydraulik übereinstimmt, indem er sagt, daß sie alle andern Methoden, die Kraft des Wassers anzuwenden, um Bewegung zu erhalten, übertrifft. Die Kraft dieser Maschine hängt nicht ganz von der senkrechten Höhe des Wassers in der Röhre u v ab, sondern von der Centrifugalkraft, die in den Armen z a entsteht, wodurch eine weit schnellere und heftigere Ausleerung des Wassers stattfindet, als es der Fall durch die Höhe allein seyn könnte, und wodurch auch eine verhältnißmäßige Geschwindigkeit der Bewegung hervorgebracht wird. In *Rozier's* Journal de Physique, Aug. 1775, ist die Angabe einer Verbesserung dieser Maschine von M. Mathon de la Cour, wobei das Wasser, statt niederzugehen, in der Röhre u v mittelst eines dicht eingeschliffenen Gelenks in die Höhe steigt: auf diese Weise kann jede Wasserhöhe durch dichte Röhren zur Einwirkung auf die Maschine gebracht werden, ohne die Höhe und folglich das Gewicht der sich umdrehenden Röhre zu verstärken, was die Maschine weit kleiner macht, und ihre Reibung vermindert. Hr. Waring beschreibt eine Maschine dieser Art nach M. Mathon de la Cour's Einrichtung nach seiner eigenen Ansicht im 3. Bande der Transactions of the American Philosophical Society, und giebt davon folgende Dimensionen. Der Radius der Arme von dem Mittelspindelzapfen bis zum Mittelpunkt der Ausleerungslöcher 46 Zoll; der innere Durchmesser der Arme 3 Zoll; der Durchmesser der Versorgungsröhre 2 Zoll; die Höhe des wirkenden Wassers 21 Fuß über dem Ausleerungspunkt. Obgleich dieser Fall sehr hoch ist, so braucht man dabei doch nur sehr wenig Wasser, da es nur von einer 2 zölligen Röhre hergegeben wird, und wenn die Maschine nicht beschwert war, und nur eine Ausleerungsöffnung offen hatte, machte sie 115 Umdrehungen in einer

Minute. Dieß giebt eine Geschwindigkeit von 46 Fuß für die Ausflußöffnung in einer Sekunde, was um $9\frac{5}{6}$ Fuß geschwinder ist, als das Wasser bei dem bloßen Druck von 21 Fuß Höhe ausfließen würde, welches große Geschwindigkeitsübermaaß nur auf die ungeheure in den Armen entstandene Centrifugalkraft geschrieben werden kann, und von der diese Maschine hinsichtlich ihrer Wirkung im hohen Grade abhängt. (Ueber die weitere Auseinandersetzung der Barkerschen Mühle, und die genaue Untersuchung ihrer Kräfte vergl. Dr. Gregory's Mechanics, V. II. p. 112. 3d ed. 1815.) Barker's Mühle ist eine Maschine, die von allen vorzüglichen Mechanikern, die sie untersucht haben, zur Anwendung äußerst empfohlen ist, und wenn man deren hochgeachtete Namen, und die Einfachheit und Wohlfeilheit der Maschine betrachtet, so ist es zu verwundern, daß in Großbritannien, wo die Bewegungskraft des Wassers weit mehr in Anwendung gebracht ist, als in irgend einem andern Theile der Welt, und nicht wenig zu der ausnehmenden Vortrefflichkeit, die unsere Manufacturarbeiten anerkannt erlangt haben, beigetragen hat, keine Versuche gemacht sind, sie im Großen zu bauen.

Die Anwendung des Wassers um Maschinen zu treiben, ist so einfach, so wohlfeil, so sicher und so gleichmäßig in der Wirkung, daß sie den Vorzug verdient, den man ihr stets gegeben hat, wo sie erlangt werden konnte: aber es ist oft der Fall, daß Bewegung und Kraft zu einer Maschine nöthig sind, wo kein fließendes Wasser ist, und wo die Anwendung der thierischen Kraft entweder zu kostspielig, oder mit den örtlichen Umständen unverträglich ist; und dann zeigt sich die Dampfmaschine, der Stolz der Britischen Erfindungen, so äußerst nützlich. Die Dampfmaschine ob sie gleich hier beschrieben wird, kann nicht eigentlich

eine hydrauliſche Maſchine genannt werden, weil ihre Einrichtung mehr auf pneumatiſchen, als hydrauliſchen Principen beruht, indem das zum Treiben derſelben verwandte Waſſer nicht in ſeinem natürlichen Zuſtande gebraucht, ſondern erſt durch die Anwendung von Hitze in Dampf verwandelt wird; und der Dampf, der ſo entſteht, iſt höchſt elaſtiſch, und ohne Vermiſchung mit der Luft unerzeugbar, und läßt ſich durch Röhren leiten, wobei er auf Ventile, Stämpelkolben oder andere widerſtehende Körper eben ſo wie verdichtete Luft wirkt.

Die Art, wie der Wärmeſtoff auf alle Körper wirkt, indem er ihre Dimenſionen dadurch vergrößert, daß er ihre Beſtandtheile weiter auseinander bringt, iſt bereits oben erklärt. Wenn hiernach feſtes Eis als der natürliche und einfache Zuſtand des Waſſers betrachtet wird, ſo wird der Zuſatz von einer gewiſſen Menge Wärmeſtoff zu demſelben ſeine Theile in ſoweit trennen *), daß er ihren Zuſammenhang auflöſ't, und ſo das Eis fließen macht, oder ihm den gewöhnlichen Character des Waſſers giebt; und ſetzt man den Zuſatz des Wärmeſtoffs weiter fort, ſo wird der Charakter des Waſſers noch mehr verändert, indem ſeine Beſtandtheile noch weiter von einander entfernt werden, ſo daß es in Dampf verwandelt wird; denn Verſuche haben bewieſen, daß ein einziger Kubikzoll Waſſer, wenn es zu 212 Grad Fahrenh. erhitzt wird, und zwar lange genug bis es ganz verkocht, beinahe 2000 Kubikzoll Dampf giebt, und wenn dieſer Dampf, ſtatt ihn in die Luft entweichen

*) Dieſe Anſicht des Verf. iſt unrichtig, da Eis bekanntlich von geringerer ſpecifiſcher Schwere iſt, als Waſſer, folglich die Partikeln des erſtern weiter von einander abſtehen, als die des letztern. D. Ueb.

zu lassen, in einem dichten Gefäß aufgefangen und abermals über 212° erhitzt wird, so wird sein Umfang sowohl als seine Elasticität ungeheuer zunehmen.

Verdunstung oder Dampfbildung findet beständig bei allen Flüssigkeiten unter allen Wärmegraden statt, aber bei gewöhnlicher Wärme der Atmosphäre geschieht sie langsam und unsichtbar. Wenn indeß durch irgend ein Mittel die Wärme zu etwa 212 Grad verstärkt wird, dann wird durch alle Theile der Flüssigkeit der Dampf schnell und sichtbar gebildet, und die ausgedehnten Blasen, die von unten nach oben steigen, bewirken das sogenannte Kochen der Flüssigkeit, und diese Wirkung erfolgt bei'm gewöhnlichen Druck der Atmosphäre zu 212° Fahrenheit, obgleich oben (S. 131) gezeigt ist, daß, wenn der Druck gemindert ist, dieselbe Erscheinung des Kochens bei einer viel geringern Temperatur stattfindet, und im Gegentheil, wenn Wasser unter einem größern Druck in's Kochen gebracht wird (unter verdichteterer Luft z. B. oder unter dem Druck seines eigenen Dampfs, wenn er eingeschlossen ist), dann findet kein Kochen statt, wenn nicht die Hitze weit über 212° vermehrt wird, welche immer im geraden Verhältniß zu der Kraft steht, die auf die Oberfläche des Wassers wirkt.

Hieraus sehen wir, daß der Siedepunkt der Flüssigkeiten keineswegs bestimmt ist, sondern von den Umständen abhangt, unter denen sie erhitzt werden, und wenn wir 212° Fahrenheit als den Siedepunkt des reinen Wassers annehmen, so müssen wir darunter bei einem Barometerstande von 30 Zoll verstehen; denn wenn das Quecksilber unter diese Höhe fällt, so fordert das Wasser zum Sieden weniger Hitze, und umgekehrt nimmt die erforderliche

Hitze zu mit der zunehmenden Höhe des Barometerstandes. Der hervorgebrachte Dampf ist somit im genauen Gleichgewicht mit dem auf das Wasser angebrachten Druck, so daß, wenn Wasser bei 212° kocht, und der Barometer auf 30 Zoll steht, der Dampf, den es hervorbringt, dem Drucke der Atmosphäre auf die Außenseite des Siedekessels, der nämlich dicht verschlossen seyn muß, genau an Kraft gleichkömmt; wenn aber der Dampf nicht entweichen kann, so häuft er sich schnell an, und nimmt an Kraft zu, bis zuletzt durch seine Stärke der Kessel gesprengt werden kann. Während dieser Anhäufung steigt aber die Hitze des Wassers über 212 Grad, was man ausmitteln kann, wenn man einen Thermometer darin eingetaucht hält. Dampf, wie oben beschrieben ist, der etwa $14\frac{1}{2}$ ℔ auf den Quadratzoll oder dem gewöhnlichen Drucke der Atmosphäre an Kraft gleich ist, wird öfters atmosphärischer Dampf, oder Dampf von einer Atmosphäre genannt; hat er aber diese Kraft doppelt oder dreifach, so heißt er Dampf von 2 oder 3 Atmosphären u. s. w. und aus Versuchen, die mit dem Dampfe gemacht sind, ergiebt sich, daß seine elastische Kraft vielleicht in's Unendliche vervielfältigt werden kann, wenn die Hitze hinreichend vermehrt wird, weil man gefunden hat, daß er unter diesen Umständen jedes Gefäß zu sprengen im Stande ist, in das man ihn einzuschließen versucht hat.

Der Durchschnitt des bequemsten Apparats, um Versuche mit Dampf im Kleinen zu machen, ist in Taf. X. Fig. 110. abgebildet. Er besteht aus einer starken hohlen kupfernen oder messingenen Kugel a von etwa 4 Zoll im Durchmesser, die auf einem Gestelle steht, welches gestattet, daß man eine Spiritus- oder andere starkwirkende Lampe

darunter setzen kann, um das Wasser zu erhitzen. Oben auf der Kugel sind vier Oeffnungen; in der mittlern b ist eine aufrechtstehende gläserne Barometerröhre, die 30 bis 40 Zoll lang, und oben und unten offen ist, mittelst eines luftdichten Schraubenstückes befestigt, wobei das untere Ende der Röhre in einen kleinen oben offenen Behälter innerhalb der Kugel taucht, der gerade Queckſilber genug enthält, die Röhre zu füllen. Ein Queckſilber-Thermometer ist mit einer ähnlichen Kappe c in der zweiten Oeffnung befestigt. Die dritte d hat ein konisches Schlußventil, das sich nach außen öffnet, aber durch eine Feder mehr oder minder niedergehalten werden kann, und die vierte Oeffnung e ist mit einem Hahn versehen, um die Kugel von Luft zu entleeren, oder das schnelle Entweichen ihres Dampfs zu gestatten, oder ihn durch eine Röhre zum Behuf von Versuchen fortzuführen: f f ist ein nach Zollen und Zehnteln eingetheilter Durchmesser, an dem man das Steigen des Queckſilbers beobachtet. Bei solch einer Vorrichtung kann man die Hitze des Wassers und die entsprechende Stärke seines Dampfs sehr genau messen; denn das Thermometer mißt die eine, während der Dampf, der auf die Oberfläche des Queckſilbers drückt, und es in der Glasröhre hinauftreibt, die andere durch die Höhe, zu der es steigt, anzeigt. Durch Versuche, die auf diese Weise von Bettancourt angestellt, und hernach von Dalton berichtigt sind, ist bestimmt, daß die Kraft des eingeschlossenen Wasserdampfs nach den verschiedenen Graden der Temperatur in folgender Tafel ziemlich genau angegeben ist:

Tabelle über die Stärke des Wasserdampfs bei verschiedenen Temperaturen, nach Fahrenheits Thermometer, den Atmosphärischen Druck = 1.

Temperatur.	Druck.	Temperatur.	Druck.	Temperatur.	Druck.	Temperatur.	Druck.
50	.006	120	.099	182	.500	245	2.00
60	.011	130	.130	190	.601	250	2.50
70	.017	140	.172	200	.760	261	2.75
80	.027	150	.225	212	1.00	268	3.00
90	.040	160	.287	221	1.22	275	3.35
100	.054	170	.371	230	1.48	279	3.50
110	.075	180	.465	239	1.80	312	5.50

In der obigen Tafel, die nur die verhältnißmäßige Kraft des Dampfs zeigt, ist der gewöhnliche Druck der Atmosphäre der Einfachheit wegen zu 1.00 angenommen, weil, wenn man vom Dampf oder verdichteter Luft spricht, es üblich ist, ihn mit dem atmosphärischen Druck zu vergleichen; und da man gefunden hat, daß Dampf bei 212 Wärmegrad dem gewöhnlichen Druck der Atmosphäre genau das Gleichgewicht hält, so steht der Ausdruck 1.00 dieser Temperatur gegenüber, um anzuzeigen, daß Dampf von dieser Wärme Einer Atmosphäre gleichkömmt ohne Bruch. Nehmen wir aber die Temperatur von 230 Graden, dann steht 1.48 gegenüber, und dieß zeigt an, daß wenn die Hitze so erhöht ist, der Druck des Dampfs Einer Atmosphäre und 48 Hunderteln, oder fast anderthalb Atmosphären gleichkömmt, während er bei 245 Graden zwei Atmosphären gleich wird, und bei 268 drei Atmosphären. Es erhellet also, daß gleiche Zunahmen der Hitze

verhältnißmäßige Zunahmen im Druck des Dampfs nicht hervorbringen, denn es sind nicht weniger als 182 Grade der Temperatur erforderlich, um eine Stärke des Dampfs, die 0.500, oder dem halben Drucke der Atmosphäre gleich ist, hervorzubringen, indeß der Zusatz von nur 33° Wärme zu 212 Grad die doppelte Kraft hervorbringt, als 212°, und ein weiterer Zusatz von nur 23° durch Erhöhung der Temperatur zu 268 Graden, die erste Kraft versechsfacht, oder drei Atmosphären gleichmacht.

Der Druck, den der Dampf auf einen Kessel ausübt, kann so weit die Tabelle geht, mittelst dieser für jede Temperatur leicht gefunden werden, oder im Gegentheil, wenn der Druck bekannt ist, kann die Tempetatur des Wassers ausgemittelt werden; denn da der gewöhnliche Druck der Atmosphäre $14\frac{3}{4}$ ℔ oder 14,75 auf den □ Zoll gleichkömmt, so wird durch Multiplication des in der Tabelle für jede angenommene Temperatur angegebenen Drucks mit 14,75 das Facit der Kraft seyn, die der Dampf nach Englischen Pfunden gegen jeden Quadratzoll der Oberfläche des Kessels ausübt, angenommen, daß er von einem leeren Raum umgeben sey. Aber da dieß in der Wirklichkeit nie stattfinden kann, wo die Kessel mit der äußern Luft umgeben sind, so müssen 14.75 ℔ von dem Facit der Multiplication abgezogen werden, und der Rest ist die wirkliche effective Kraft, die der Kessel auszuhalten hat. So z. B. bringt Dampf bei 212° keinen Druck oder Kraft auf einen Kessel hervor. Denn wenn wir seine Zahl 1.00 mit 14.75 multipliciren, so ist das Produkt 14.75 ℔, was der Druck ist, der auf jeden Quadratzoll des Kessels wirkt um ihn zu sprengen, wenn er mit einem leeren Raum umgeben wäre; aber da er von Luft umgeben ist, und diese Luft mit einer Kraft von 14.75 ℔ auf jeden Quadratzoll entgegendrückt, so bleibt nach dem Abzug dieses

Drucks von dem ersten nichts übrig, und erhellt, daß kein Druck vorhanden ist. Allein wenn wir annehmen, daß die Temperatur von 279° einem Drucke von 3.50 entspricht und dieß mit 14.75 multipliciren, so giebt dieß ein Facit von 51.625 ℔ für den Druck auf jeden Quadratzoll im leeren Raume, und 14.75 ℔ davon abgezogen, bleibt 36.87 ℔ für den wirklichen Druck, den der Dampf auf ieden Quadratzoll der Oberfläche eines Kessels, der mit Luft umgeben ist, ausüben würde. Die Zahl der Quadratzolle, die in der ganzen Oberfläche eines Kessels enthalten sind, kann leicht ausgemittelt werden, und wenn diese mit dem Druck auf jeden einzelnen Zoll multiplicirt wird, so giebt dieß den Betrag der effectiven Kraft, welche sich bemüht, die Theile eines solchen Kessels zu sprengen, der auf jeden Fall so stark seyn muß, daß er der Kraft, der er widerstehen soll, wenigstens dreimal gewachsen ist.

Wenn die Kraft des Dampfs bekannt ist, so kann man auf gleiche Weise der Temperatur des ihn erzeugenden Wassers bestimmen, wenn man das obige Verfahren umkehrt; denn wenn der Dampf 2 Atmosphären oder $29\frac{1}{2}$ ℔ auf den Quadratzoll gleich gefunden wird, so muß seine Temperatur 245° gleich seyn, u. s. w. für jeden andern Druck. Bei Versuchen mit Dampf ist es immer am besten, durch einen Verdichtungsmesser mit Queckfilber seinen Expansionszustand zu beurtheilen; obgleich dieß gleichfalls durch gehörig beschwerte Ventile geschehen kann, wie weit er unten erläutert werden wird. In dem Instrument Fig. 110 wird der in der hohlen Kugel a erzeugte Dampf auf die Oberfläche des Queckfilbers in dem kleinen Behälter drücken, und es in der Röhre ff hinauftreiben. Allein da Dampf bei 212° durch atmosphärischen Druck im Gleichgewicht gehalten wird, und die Röhre ff oben offen ist, so kann das Queckfilber nicht zu steigen anfangen,

bis diese Temperatur verstärkt ist, und da der atmosphäri-Druck beinahe 15 Pfd. auf den Quadratzoll gleichkömmt, und ihm durch etwa 30 Zoll Queckſilber in der Barometerröhre das Gleichgewicht gehalten wird, ſo folgt, daß jedes Steigen des Queckſilbers zu 2 Zoll in einer Röhre wie f f einem Pfunde an Druck oder elaſtiſcher Kraft des Dampfs gleichkommen muß. und folglich wird ein Verdichtungsmeſſer, der in Verbindung mit einem Thermometer gebraucht wird, ein äußerſt genauer Maaßſtab für die Stärke des Dampfs, und ein ſolcher wird in der Regel, und ſollte immer bei den Keſſeln der Dampfmaſchinen, oder anderen Gefäßen zur Dampferzeugung angebracht werden, um den Zuſtand des eingeſchloſſenen Dampfs genau beſtimmen zu können. Der Verdichtungsmeſſer, den man gewöhnlich bei Maſchinenkeſſeln gebraucht, iſt von der Geſtalt des Hebers, und beſteht aus einer eiſernen Röhre, die in Geſtalt der Fig. III. gebogen, und an beiden Enden offen iſt; g h iſt die Röhre, und i eine kleine Platte, wodurch ſie an den obern Theil des Keſſels befeſtigt iſt, oder an irgend einer Röhre, die mit dem Dampfe communicirt. Der untere Theil dieſer Röhre iſt mit Queckſilber gefüllt, wie von g nach h, und ein dünnes Stäbchen k iſt in den Theil h der Röhre eingebracht, ſo daß es auf der Oberfläche des Queckſilbers ſchwimmt; folglich zeigt die Spitze des Stäbchens jede Veränderung in der Höhe des Queckſilbers auf der Scala l k an, die in ganze und halbe Zolle getheilt iſt. Wenn kein Dampf auf dieß Inſtrument wirkt, ſo ſetzt ſich das Queckſilber in beiden Schenkeln des Viſirs in einerlei Richthöhe, und die Spitze des Stäbchens ſteht gleich mit dem Untertheil der Scala, oder dem obern Ende der Röhre h, allein ſobald in die Oeffnung i Dampf tritt, ſo drückt er auf die Oberfläche des Queckſilbers in g, und hebt es in h zuſammt dem

Stäbchen, und zeigt so die Kraft des Dampfs an. Ein Zoll auf dieser Scala ist gleich 2 Zollen oder 1 Pfund Druck in einer geraden Röhre, nach dem bereits bei dem Luftpumpenvisir erörterten Grundsatz.

Da sonach gezeigt ist, wie die Kraft des Dampfs gemessen werden kann, so muß die Nothwendigkeit dieser Messungen einleuchten, wenn es ausgemacht ist, daß kein auch noch so starkes Gefäß im Stande ist, seiner Gewalt zu widerstehen, vorausgesetzt, daß die Hitze hinlänglich verstärkt ist. — Hiervon haben wir viele traurige Beispiele, unter denen der unglückliche Vorfall im Nov. 1815 in der Zuckersiederei des Hrn. Constant, bei Wellclose-square in London sich auszeichnet, wo die Explosion eines Dampfkessels nicht nur mehrere Menschen tödtete, sondern die Gebäude, worin er war, völlig vernichtete, und den benachbarten Häusern großen Schaden zufügte. Die Explosion des Dampfkessels am Bord des Norwicher Dampfboots ist ein anderer und jüngerer Vorfall dieser Art, dem man noch viele andere an die Seite stellen könnte.

Um die ungeheure Expansionskraft des Dampfs ziemlich genau zu beurtheilen, und seine Gewalt im eingeschlossenen Zustande zu ermessen, kann man einen Versuch so sehr im Kleinen machen, daß keine Gefahr damit verbunden ist, und zwar mittelst eines sogenannten Knallkügelchens. Dieß besteht aus einer gläßernen Kugel von der Größe einer Erbse, woran ein Hals geblasen ist, der etwa $\frac{3}{4}$ Zoll Länge hat. Die Kugel wird halb mit Weingeist gefüllt, und dann mittelst eines Löthrohrs hermetisch verschlossen. Steckt man den Hals einer dieser Knallkügelchen in ein Licht, und zwar so, daß die Kugel aufwärts steht, und ziemlich $\frac{1}{4}$ Zoll von der Flamme entfernt ist, so wird der Weingeist bald kochen und in Dampf verwan-

delt, der, da er nicht entweichen kann, sich anhäuft und die Glaskugel bald mit einem pistolenartigen Knall, und mit solch einer Kraft sprengt, daß der Docht und die Spitze des Lichts gewaltsam niedergedrückt werden, und das Glas in allen Richtungen umherfliegt. Um den Versuch mit völliger Sicherheit zu machen, sollte der Docht aufgedreht und auseinander gemacht werden, aber nicht angebrannt seyn, wenn die Knallerbse hineingesteckt wird, da man ihn denn unter einen Tisch oder hinter einen Schirm stellen und anzünden kann, so daß man Zeit hat, sich zu entfernen, ehe der Weingeist zu kochen anfängt, um Augen und Haut gegen die Glassplitter zu schützen, die mit der größten Gewalt rings umher geworfen werden.

Die Kraft des Dampfs läßt sich auch durch ein Instrument, Blaskolben genannt, dessen Form im Allgemeinen in Fig. 112. abgebildet ist, auf eine artige Weise erläutern. Es besteht aus einem kleinen Metallgefäß m, was mit einem durch eine Feder niedergehaltenen Ventil in n versehen ist, wobei eine Röhre oder ein Hals von dem Obertheil des Gefäßes ausgeht, und sich in eine sehr kleine Mündung in o endigt. Eine Weingeistlampe ist in p angebracht, um den Weingeist oder das Wasser, womit das Gefäß m etwa halb angefüllt ist, in's Kochen zu bringen, und da wegen der Lage der Röhre diese Flüssigkeit nicht entweichen kann, so geht ihr Dampf allein über, und strömt aus der Mündung o mit einer Gewalt, die von der Hitze der Lampe abhängt, und gemeinlich so heftig, daß er eben ein solches Getöse macht wie der Wind; q q ist ein Gestell, um das Gefäß m in angemessener Höhe über der Lampe p zu halten, und damit die Hitze zu reguliren; und zuweilen steht dieß Gestell auf Rädern r r r, da denn die Kraft des Dampfs, der aus o kömmt, sol-

chen Widerstand an der umgebenden Luft findet, daß dadurch die ganze Maschine rückwärts läuft, oder in entgegengesetzter Richtung von dem ausströmenden Dampfe, und so durch die Wirksamkeit des Dampfs Bewegung hervorbringt, die aber nicht stark genug ist, um zu irgend einem Behuf benutzt zu werden. Der Hauptnutzen des Blaskolbens ist, daß er als Blasebalg oder Löthrohr gebraucht werden kann, denn wenn der Strom des Dampfs durch die Flamme einer Lampe, die bei o gesetzt ist, geleitet wird, so entspricht es jedem Zwecke eines Löthrohrs, selbst wenn Wasserdampf dazu benutzt wird; denn der Dampf wird so sehr durch die Flamme p verdünnt, daß die wenigen enthaltenen wässerigten Theile nicht im geringsten gegen die Hitze der Flamme, durch die er geht, in Betracht kommen. Nach einem größern Maaßstabe gemacht, kann dieß Instrument zum Feueranblasen benutzt werden, wenn es gehörig davon entfernt steht. Die Verwahrungsklappe in n dient, alle schlimmen Zufälle abzuhalten, die durch irgend eine Verstopfung der Oeffnung o entstehen könnten. Einer der frühesten Versuche, den wir erwähnt finden, um Bewegung und Kraft für Maschinen mittelst des Dampfs zu erlangen, ward von einem Italiener Brancas gemacht, der einen Blaskolben im Großen vorschlug, in Verbindung mit einem Rade, welches mit Flügeln wie das Wasserrad in Fig. 105. versehen war. Die Flügel sollten durch die Bewegung des Rades nach einander vor der Mündung der Röhre vorbeigehen und kraftvoll umgetrieben werden. Dieß war eine Art von Windmühle, auf die der Dampf wirkte, allein es scheint nicht, daß sie mit sonderlichem Erfolg in Wirksamkeit gesetzt ist, und nur erst, als man die Dampfverdichtung und die elastische Kraft desselben benutzte, konnte man sagen, daß etwas Dampfmaschinenähnliches gebaut war.

Unter Verdichtung des Dampfes haben wir nicht zu verstehen, daß er in einen geringern Raum zusammengedrängt oder gepreßt wird, wie bei der Luftverdichtung, sondern die wirkliche Zurückführung desselben in den Wasserzustand. Der Unterschied zwischen Gas oder Luft und Dampf ist bereits oben erklärt, so wie warum Luft als eine permanent elastische und Dampf als bloß elastische Flüssigkeit benannt ist; denn Luft behält ihre Elasticität unter allen Veränderungen der Temperatur, was bei'm Dampfe nicht der Fall ist, indem, sobald Dampf mit irgend etwas in Berührung kömmt, was kälter ist, als der Siedepunkt der Flüssigkeit, die ihn hervorbringt, er seine Elasticität verliert, und wieder in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit zurückversetzt wird. Wenn der Unterschied der Temperatur sehr groß ist, so geschieht diese Umwandlung mit erstaunlicher Geschwindigkeit. Wenn man also, statt die Flamme eines Lichtes vor die Mündung o des Blaskolbens Fig. 112. zu bringen, eine Scheibe kaltes Eisen dafür nimmt, so wird die Kraft des Dampfs augenblicklich verschwinden, und die Scheibe bald mit Wassertropfen bedeckt seyn, die auf ihrer Oberfläche niederrinnen, bis die Scheibe selbst zu heiß wird, um die Condensation vollbringen zu können, was bald der Fall seyn wird; denn die Hitze, die der Dampf so eben hatte, muß sich der Scheibe oder sonst einem andern Körper mittheilen, ehe eine Condensation möglicherweise stattfinden kann.

Die Natur des Dampfs, und der Unterschied zwischen ihm und den Gasarten oder permanent elastischen Flüssigkeiten ist eher ein Gegenstand der chemischen als mechanischen Untersuchung; allein in sofern man die Operation der Dampfmaschine nicht begreifen kann, ohne zuvor mit jener Wirkungskraft bekannt zu seyn, so müssen

einige Bemerkungen über diesen Gegenstand gemacht werden, der zuerst um's Jahr 1757 durch Dr. Black zu Edinburgh demonstrirt, und hernach durch die Arbeiten und Untersuchungen anderer vortrefflicher Chemiker bestätigt ist. Man hat festgesetzt, daß der Wärmestoff die Kraft hat, alle Körper auszudehnen, oder ihre Bestandtheile zu trennen. Hiernach kann man darthun, daß der feste Zustand derjenige ist, der jedem einfachen Elementarstoff eigenthümlich ist, und daß in dem Verhältniß, als er mit Wärmestoff durch Mischung verbunden ist, er mehr oder weniger flüssig oder elastisch wird. Reiner oder einfacher Stoff ist aber nicht vorhanden, denn alle Stoffe enthalten eine bestimmte Menge Wärmestoff, die ihnen eigenthümlich ist, die ihre specifische Wärme heißt, und die vielleicht zu ihrer Existenz erforderlich ist; allein diese Menge läßt sich in vielen Fällen nicht durch Versuche ausmitteln, weil sie nicht nur gebunden und unwirksam, sondern imponderabel und unmeßbar für alle Untersuchungsinstrumente ist, auf welche nur der freie oder ungebundene Wärmestoff wirkt, und der unsern Sinnen durch Veränderungen in der Substanz der Körper offenbar wird. So wird Wasser bei der Temperatur von 32° Fahrenheit Eis und ein fester Körper, aber doch enthält es noch etwas Wärmestoff, weil man seinen Kältegrad verstärken kann; indeß es dagegen durch Zusatz von mehrerer Wärme aus dem Zustande des Eises in flüssiges Wasser übergeht, und darin (in freier Luft) verbleibt, bis 212° zugesetzt werden, da es sich in Dampf verwandelt; und wie sehr man auch das Feuer unter dem Wasser verstärkt, so ist es doch unmöglich, ihm eine größere Hitze als 212° mitzutheilen; denn alle vermehrte Hitze geht im Dampf fort, statt im Wasser zu bleiben, es sey denn, daß der Dampf durch Einschließen in ein dichtes Gefäß am Entweichen gehindert

würde, wo dann die Hitze vermehrt werden kann, wie aus der Tabelle S. 274 erhellet.

Dieß zeigt zugleich, daß eine gewisse Quantität Wärme und nicht mehr im Eise und Wasser enthalten seyn kann, ohne ihren äußern Charakter zu verändern, und auf dieselbe Weise hat man bei Umkehrung der Operation gefunden, daß, ehe der Dampf in Wasser, oder Wasser in Eis verwandelt werden kann, ihm soviel Wärme entzogen werden muß, als zuvor zugesetzt wurde, um ihm die gewünschte Beschaffenheit zu geben, und da die Wärme, die solchergestalt angewandt wird, sich ungehindert mit neuen Stoffen verbinden, oder rings umher sich in's Gleichgewicht setzen kann, so beweist dieß, daß sie bloß in mechanischer Verbindung gehalten wird, statt in eine chemische Vereinigung zu treten. Dieß erklärt zugleich den Proceß der Destillation, der nichts weiter ist als ein Kochen der zu destillirenden Flüssigkeit in einem dichten Gefäß, Kolben oder Blase genannt, wobei der Dampf bloß, durch eine lange Röhre entweichen kann, die zur Vermehrung ihrer Länge in eine Spiralform gebogen ist, und in ein Gefäß mit kaltem Wasser getaucht ist, Kühlfaß genannt, um den Dampf bei seinem Durchgange abzukühlen und zu verdichten. Das Abkühlen des Dampfs erwärmt aber das Wasser im Kühlfaß, was also öfters gewechselt oder abgekühlt werden muß, indem es sonst seine Wirkung verlieren würde.

Mit permanent elastischen Flüssigkeiten, als Luft- und Gasarten, ist die Sache ganz anders, denn diese bestehen, wie man gefunden hat, aus gewissen Grundstoffen, die (wahrscheinlich auf gleiche Art) mit Wärmestoff verbunden sind, aber chemisch statt mechanisch. Der so verbundene Wärmestoff hat folglich nicht die Freiheit, sich mit dem in andern Körpern in's Gleichgewicht zu setzen oder zu

verbreiten, und wird also nicht bemerkbar oder frei, bis das Gas, das ihn zuvor enthielt, durch das Eingehen einer neuen Verbindung zersetzt ist, wo er dann bemerkbar wird. Allein Gas mag mit einem heißen oder kalten Körper in Berührung seyn, immer bleibt seine Bestandmenge an Wärmestoff dieselbe, und außer im Fall der Zersetzung, giebt es bloß den freien oder überschüssigen ab, und zwar ohne dabei seinen Charakter zu verändern; daher behaupten die Gasarten ihren gewöhnlichen Charakter und ihre Erscheinungen, oder sie sind bei allen Veränderungen der Temperatur permanent.

Auf diesen Umständen beruht die große Wichtigkeit und der Werth des Dampfs, als Mittel, Bewegung und Kraft hervorzubringen; denn wenn eine kleine Menge Wasser mittelst der Hitze in einen sehr großen Raum ausgedehnt werden kann, und durch Abkühlen sogleich wieder zu dem ursprünglichen Umfange zurückgeht, so ist es klar, daß sich eine Quelle von Bewegung erzeugt; und dieß ist es, was wirklich bei der Construction der Dampfmaschine in Anwendung gebracht wird. Dieß ist auf eine artige Weise durch ein kleines sinnreiches Spielzeug, was Dr. Wallaston erfunden hat, erläutert, bei dem man die Natur der obigen Erscheinung sieht, und das in der That ein Inbegriff der Dampfmaschine ist. Fig. 113. zeigt seine Abbildung. Es besteht aus einer ein Paar Zoll langen cylindrischen Glasröhre m n, die oben offen ist, aber unten in Gestalt einer Kugel ausgeblasen ist, ist, wie in o, und ein wenig Weingeist enthält. Ein Kolben bei n paßt leicht in den cylindrischen Theil der Röhre, und durch Umwickeln mit Werg oder Baumwolle wird er zu diesem Zweck hinlänglich luftdicht gemacht. Die Kolbenstange p besteht aus einem Stück von sehr feinem Röhr:n: oder Hohldrath, das sich in die untere Höhlung der

Röhre o öffnet, so daß durch Losschrauben des Kopfringes p alle Luft, die zwischen n und o enthalten ist, entweicht, wenn der Stämpel hinabgedrückt wird, worauf man die Röhre dadurch verstopfen muß, daß man den Kopfring p wieder aufsetzt; q q ist ein Federring nebst Griff, um den Apparat zu halten, wenn er heiß ist. Ist alles eingerichtet, so wird, wenn die Kugel o über die Flamme eines Lichts oder einer Weingeistlampe gehalten wird, der Weingeist bald Dampf hervorbringen, der durch seine Expansionskraft den Stämpel von n nach m hebt, und ihn selbst aus der Röhre werfen würde, wenn man die Anwendung der Hitze lange genug fortsetzte; aber um dieß zu verhüten, muß der Apparat mittelst seines Griffs q q von dem Lampe entfernt werden, und indem man die Kugel o in eine Schaale mit kaltem Queckfilber taucht, wird der vorhin entstandene Dampf sogleich verdichtet und wieder in Weingeist verwandelt, und da sonach ein leerer Raum in der Röhre entsteht, so drückt sich der Stämpel durch den atmosphärischen Druck, der auf seinen Obertheil wirkt, nieder. Wird die Kugel wieder über die Flamme gehalten, so hebt sich auch der Stämpel von neuem, während eine neue Abkühlung ihn niedertreibt, und so kann man den Stämpel so lange man will in Wechselbewegung erhalten. Nach diesen vorausgeschickten Bemerkungen kann es nicht fehlen, daß man die Beschaffenheit der Dampfmaschine deutlich einsieht, und da sie eine wirklich physikalische Maschine ist, und die größte Wichtigkeit für den Menschen hat, so kann es nicht uninteressant seyn, eine kurze Uebersicht ihrer Geschichte von der Zeit ihrer Erfindung und ohne zu sehr in's Einzelne zu gehen, bis zum jetzigen Zustande ihrer Vollkommenheit zu lesen.

Die erste Idee, durch unmittelbare Anwendung des Dampfs Bewegung und Kraft zu erhalten, wird fast einstimmig dem Marquis von Worcester zugeschrieben, ei-

nem Mann von großen Kenntnissen und Erfindungsgeist, der unter der Regierung Carl's II. lebte und der 1663 diese Erfindung zuerst in einem kleinen Buche ankündigte unter dem Titel: „The Scantlings of one Hundred Inventions," (Entwurf von 100 Erfindungen) und worin das hieher gehörige in der 68sten dieser Erfindungen steht.

Dieß Buch, das gewöhnlich „the Century of Inventions" heißt, enthielt nichts weiter als die Namen nebst einer sehr undeutlichen Nachricht von hundert Erfindungen, die der Marquis in seiner Vorrede gemacht zu haben behauptet, allein er unterrichtet den Leser nicht, wie man dieselben in wirksame Ausführung bringen könne und müsse, und mehrere von den Erfindungen, sind so übertrieben, und scheinen so sehr außer dem Bereich der menschlichen Kraft zu liegen, daß Viele gezweifelt haben, ob sie wirklich erfunden gewesen sind, wiewohl dieser Zweifel dadurch großen Theils gehoben ist, daß viele davon nachher zur Wirklichkeit gebracht sind. So ist die Methode, mittelst eines Telegraphen sich in der Ferne zu unterhalten, deutlich bemerkt. und die Dampfmaschine ist in solchen Ausdrücken beschrieben, daß nichts anders als diese Maschine gemeint seyn kann. Seine Worte sind: „Ich habe eine wundersame und sehr kräftige Weise erfunden, das Wasser durch Feuer in die Höhe zu treiben; nicht durch Aufziehen oder Aufwärtssaugen, denn dieß müßte seyn, wie der Physiker es nennt, intra sphaeram activitatis, das ist, nur auf eine gewisse Entfernung; sondern diese Methode hat keine Gränze, wenn das Gefäß stark genug ist; denn ich habe ein Stück von einer ganzen Kanone genommen, woran das Ende geborsten war, und sie drei Viertel voll Wasser gefüllt, wobei ich das gebrochene Ende stopfte und zuschraubte, sowie auch das Zündloch, und nun machte ich ein beständiges Feuer darunter; in 24 Stunden sprang

sie, und machte einen großen Knall, so daß, da ich eine Methode habe, meine Gefäße so zu machen, daß sie durch die inwendige Kraft stark werden, und eins nach dem andern zu füllen, ich gesehen habe, daß das Wasser in einem beständigen steigenden Strom 40 Fuß hoch lief. Ein Gefäß mit Wasser, das durch Feuer verdünnt ist, treibt 40 mit kaltem Wasser in die Höhe; und ein Mensch, der der Arbeit wartet, braucht bloß zwei Hähne zu drehen, damit, wenn ein Gefäß mit Wasser verbraucht ist, ein anderes zu wirken anfängt und sich wieder mit kaltem Wasser füllt, und so nach und nach. Das Feuer wird abgewartet und beständig erhalten, wozu auch derselbe Mensch in der Zwischenzeit, daß er die besagten Hähne zu drehen nöthig hat, überflüssige Zeit behält."

Dieß ist die Beschreibung, die der Marquis von dieser Erfindung giebt, die in solchen Ausdrücken verfaßt ist, daß sie nicht mißverstanden werden kann, und aus seinen Ausdrücken erhellet, daß er die Wirkung dieser Maschine bedeutend im Großen versuchte, obgleich sich keine Spuren einer Beschreibung der Maschine, die er baute, finden. Man muß sich wundern, daß eine Maschine, deren Kräfte so erstaunlich angegeben sind, nicht die öffentliche Aufmerksamkeit erregte; wenn man aber bedenkt, daß die sämmtlichen hundert Erfindungen zugleich bekannt gemacht wurden, und viele von ihnen von so außerordentlicher Art waren, daß sie den Glauben überstiegen, und daß das Werk in der Zeit der Empirie erschien, die dem Aufkommen eines richtigen Geschmacks und einer bündigen Urtheilsmethode in wissenschaftlichen Untersuchungen vorausging, so wird es weniger auffallend, daß diese Erfindungen übersehen wurden, weil sie wahrscheinlich als Prahlereien eines ruhmredigen Ignoranten angesehen wurden, in welcher Meinung man noch dadurch bestärkt wurde, daß auf Einmal eine so große

Anzahl derselben erschien, und wovon die meisten über die Forschungen der damaligen Zeit so weit hinausgingen.

Jetzt, da man die Natur und Kraft des Dampfs einsieht, giebt die Beschreibung des Marquis hinlängliche Anweisung zum Bau einer Maschine nach seinen Grundsätzen; denn wenn wir annehmen, daß q in Fig. 114 ein starkes und dichtverschloßnes Gefäß oder ein Wasserkessel ist, der wie ein gewöhnlicher kupferner Kessel eingemauert ist, mit einer Feuerstelle r darunter, die ein Aschenloch s hat, so giebt dieß ein Mittel ab, Dampf hervorzubringen; wenn wir nun annehmen, daß zwei starke hohle Gefäße von beliebiger Form unter die Oberfläche des Wassers neben den Siedekessel angebracht werden, wie in t und v, und daß jedwedes Gefäß unten eine Klappe hat, die sich einwärts öffnet, wie in u u, sowie eine Röhre w w, die die von seinem obern Theil nach dem des Dampfkessels q geht, wobei zwei andere Röhren x x von den untern Theilen dieser Gefäße in eine Cisterne y gehen, 40 Fuß über dem Niveau des Wassers, so haben wir eine Maschine, die der von dem Marquis beschriebenen sehr ähnlich ist. Denn wenn die Gefäße t und v durch die Klappen u u beide mit Wasser gefüllt sind, und der Hahn z geöffnet wird, wenn der Dampf im Kessel genugsam angehäuft ist, so strömt der Dampf sogleich in das Gefäß t nieder, und treibt das sämmtliche Wasser in die Röhre a x hinauf und in den Kasten y, wo es durch eine Klappe, die sich nach oben öffnet, in irgend einem Theil der Röhre, wie in a, gehalten wird. Ist dieß geschehen, so muß der Hahn z geschlossen werden, und nachdem man eine kurze Zeit sich den Dampf hat anhäufen lassen, muß der Hahn in b geöffnet werden, da denn der Dampf in das Gefäß v dringt, und eine gleiche Wirkung thut, wobei c die Klappe ist, die die Rückkehr des Wassers verhütet. Da nun der

Dampf von dem Gefäß t ausgeschlossen ist, während sich v entleert, so erhellet aus dem Obenbemerkten, daß der in t getriebene Dampf, um dessen Wasser auszutreiben, durch das kalte Wasser rings um dem Gefäße t verdichtet werden wird, und daß somit ein leerer Raum in diesem Gefäß entsteht, folglich ein Theil des Wassers, worin es steht, durch die Klappe u treten, und es anfüllen wird, um es zu einer neuen Oeffnung des Hahns z vorzubereiten, wodurch sein Wasser abermals in den Kasten y entleert wird, und so abwechselnd bei beiden Gefäßen fort; denn während sich v entleert, füllt sich t, und umgekehrt, was mit der Beschreibung des Marquis zutrifft, indem er sagt: „daß der Mensch nur zwei Hähne drehen muß, daß wenn ein Gefäß mit Wasser verbraucht ist, ein anderes zu treiben anfängt." ꝛc. ꝛc. Man muß indeß nicht annehmen, daß die obige Zeichnung die wirkliche Vorstellung von der Vorrichtung des Marquis geben soll; denn darüber haben wir, wie vorhin bemerkt ist, keine authentische Angabe oder Abbildung. Es ist also bloß die allgemeine Einrichtung einer solchen Maschine, wie sie nach der Beschreibung des Marquis wahrscheinlich und nach unserer gegenwärtigen Kenntniß der Natur des Dampfs zu vermuthen ist; und wenn man bedenkt, daß er nur davon spricht, das Wasser 40 Fuß in die Höhe zu heben; so ist die Kraft nicht so groß, wie man Anfangs erwarten sollte, da die Hebung desselben zu 33 Fuß nur zwei Atmosphären gleich ist, und bei 40 Fuß noch ein beträchtliches an $2\frac{1}{4}$ Atmosphäre fehlt, oder nicht ganz $33\frac{1}{2}$ ℔ an Druck auf jeden Zoll des Kessels gleichkömmt, wenn er von einem Vacuum umgeben wäre, was nur etwa 18 ℔ 10 Unzen an wirklichem Druck in freier Luft beträgt; da man gegenwärtig Kessel mit hohem Druck oftmals zu 40 ℔ und darüber auf den Quadratzoll einrichtet, wie weiterhin erhellen wird.

Wie der Marquis mit der erstaunlichen Kraft, die er dem Dampfe zuschreibt, bekannt wurde, und ob er jemals von seiner Anwendung, um Wasser zu heben, etwas gesehen oder gehört hatte, darüber ergiebt sich gar nichts; allein es ist gewiß, daß, obwohl ihm die Erfindung einer Maschine den Dampf anzuwenden, gehören mag, schon vor Erscheinung seines Buchs Versuche gemacht sind den Dampf als eine Bewegungskraft zu gebrauchen, obschon er nichts davon gewußt haben mag; denn der obige Versuch von Brancas (S 274.) ward im Jahre 1628 oder 29 gemacht, als seine Maschine angewandt wurde, eine Stampfmühle zu treiben; und aus einem Manuscript des Sir Sam. Morlands (Nro. 5771 der Harleiischen MSS im Brit. Museum,) vom J. 1683 erhellt, daß auch er viele wichtige Versuche über die Kraft des Dampfs gemacht hat, weil er Tabellen über den Durchmesser und die Länge von Cylindern mittheilt, welche gegebene Wasserquantitäten nach Pfundgewichten zu 6 Zoll Höhe, 1800 Mal in einer Stunde heben; eine Berechnungsart, die, wie sich nachher ergeben wird, der jetzigen verbesserten Methode, die Kraft der Maschinen zu berechnen, sehr nahe kömmt.

Ungeachtet nun der Marquis von Worcester die Beschaffenheit seiner Erfindung so deutlich angegeben, und Sir Samuel Morlands Versuche damit gemacht hatte, und ihre Wirksamkeit darthat, so ergiebt sich doch nicht, daß sie in wirkliche Ausführung gebracht sey, bis 1698, wo Capt. Savery auf diese Maschine, als seine eigene Erfindung, ein Patent erhielt, wobei zugleich angegeben wurde, daß sie von großem Gemeinnutzen in Austrocknung von Gruben, Wasserversorgung der Städte und im Treiben aller Arten von Mühlen seyn würde. Die Maschine ward damals, und eine beträchtliche Zeit nachher, die Feuermaschine genannt, weil ihre Thätigkeit ursprünglich durch die

Kraft des Feuers hervorgebracht wird, allein diese Benennung wird jetzt in England bloß den Feuerlöschungsmaschinen (Spritzen) gegeben.

Savery's Maschine ist ihrem Principe nach mit der von dem Marquis von Worcester zu nahe verwandt, als daß es nöthig wäre, eine besondere Beschreibung davon zu geben; dennoch ist aber ein Unterschied vorhanden, wenigstens in der Einrichtung. Der Marquis von Worcester, wird man bemerkt haben, spricht nur von der Expansivkraft des Dampfs, ohne seine Verdichtbarkeit anzudeuten, wiewohl diese bei der Erklärung von Fig. 114. in Anschlag gebracht ist. Indeß aber thut die Verdichtung des Dampfs der Maschine keinen andern Nutzen, als daß dadurch die Gefäße t und v mit Wasser gefüllt werden, folglich muß die ganze Kraft, das Wasser in die Cisterne y zu heben, lediglich von der Expansivkraft des angewandten Dampfs abhängen. Ferner, da die Gefäße t und v beständig unter Wasser sind, so werden sie in einem sehr kalten Zustande gehalten, und die ganze erste Portion Dampf, die hineintritt, muß sich verdichten und verlieren, statt ihre Expansionskraft ausüben zu können; und da eine sehr beträchtliche Quantität Dampf auf diesem Wege verloren gehen wird, so muß auch die angewandte Feuerung, um diesen Dampf hervorzubringen, verloren gehen.

Bei Savery's Dampfmaschine sind diese Nachtheile gewissermaßen entfernt, denn statt die ganze Last des Wassershebens auf die Kraft des Dampfs zu werfen, hebt sie es, soweit es der atmosphärische Druck zuläßt, mittelst eines Vacuum, das durch die Verdichtung des Dampfs hervorgebracht wird, und bewirkt dann das übrige mittelst seiner Expansionskraft; denn statt daß die Wassergefäße unter die Oberfläche des Wassers gebracht werden, stehen sie hoch und von der Luft umgeben, wie man in Fig. 115. Taf. XI. sieht, die die Hauptprincipe der Einrichtung von Savery's

Maschine darstellt. In dieser Figur ist d der Dampfkessel, auf vorbeschriebene Art über einem Ofen eingemauert, und e e ist die Röhre zur Leitung des Dampfs; f ist ein Hahn womit man diese Röhre nach Gefallen öffnet oder schließt, so daß man den Dampf in den Kessel d einschließt, oder in das luftdichte Gefäß g, was an seiner gehörigen Stelle fest steht, hinübergehen läßt. Der untere Theil dieses Gefäßes hat eine Saugröhre h h, welche nieder in den Brunnen oder Behälter geht, aus dem das Wasser gehoben werden soll, und diese Röhre mit ihrem Gefäß g muß so liegen, daß der Obertheil von g nicht die Höhe von 30 Fuß über der Oberfläche des zu heben- den Wassers übersteigt. Eine sich nach oben öffnende Klappe ist in i angebracht, um zu verhüten, daß das Was- ser, was in das Gefäß g treten kann, nicht wieder durch die Röhre h h niederläuft; eine Steigeröhre geht vom un- tern Theil des Gefäßes g zu dem obern Wasserbehälter, nach welchem das Wasser gehoben werden soll, und an ei- ner Stelle dieser Röhre, wie in l, muß eine sich nach oben öffnende Klappe angebracht werden, welche verhütet, daß kein Wasser, was in diese Röhre getrieben werden kann, wieder hinunterfließt. Wenn wir annehmen, daß ein sol- cher Apparat eingerichtet sey, und daß das Gefäß g sammt den Röhren h h und k k leer sind, so wird man einsehen, daß, sobald der Hahn f geöffnet wird, jeder Dampf, der in dem Kessel d erzeugt wird, in das Gefäß g übergehen wird, und da er nicht im Stande ist, durch die Klappe i zu entweichen, er aufwärts durch die Röhre k k und die Klappe l geht, und so das Gefäß g ganz anfüllt, indem die vorhin darin enthaltene Luft sich mit dem ersten Dampfe mischt, und die Röhre k k hinauf und weggeht. Ist dieß geschehen, und der Hahn f geschlossen, so häuft sich der Dampf in d an, und gewinnt Kraft durch das Einschließen,

während g mit Dampf gefüllt bleibt; und nach dem, was vorhin bemerkt ist, wenn g durch Aufgießen von kaltem Wasser oder auf sonst eine Weise abgekühlt ist, wird der enthaltene Dampf verdichtet, oder wieder in Wasser verwandelt, wodurch sein Umfang so bedeutend vermindert wird, daß ein fast leerer Raum entsteht, in dessen Folge der Druck der Atmosphäre solch eine Menge von Wasser in der Röhre h h hinauftreiben wird, daß es das Gefäß g ziemlich bis zu der punktirten Linie m m füllt. Mittlerweile hat sich der Dampf in d so weit angehäuft, daß, sobald der Hahn f zum zweiten Mal geöffnet wird, er in das Gefäß g strömt, was zuvor mit Wasser gefüllt ist, und durch Ausübung seiner elastischen Kraft treibt er das sämmtliche Wasser die Röhre k k hinauf und füllt abermals das Gefäß mit Dampf an, welcher gleicherweise alsbald nach Verschließung des Hahns f verdichtet werden muß, und durch eine Reihe dieser Operationen kann jede Quantität Wasser durch die Röhre k hinaufgebracht werden, vorausgesetzt, daß der Dampf im Kessel d stark genug ist, den Widerstand der Wassersäule in k k zu besiegen, was man durch Versuche ausmitteln kann, oder durch Nachsehen der Tabelle S. 274; denn wenn die Höhe der Röhre k k 33 Fuß ist, oder gleich der Kraft Einer Atmosphäre nach der gegebenen Erläuterung; so muß der Dampf so stark wie 2 Atmosphären seyn, um sie zu heben, und folglich ist ein Dampf von 245° Temperatur dazu erforderlich.

So war die erste Beschaffenheit von Capt. Savery's Maschine, aber er brachte nachher viele wichtige Verbesserungen an, die sich im Fortschreiten der Erfindung darboten, weil er mehrere solche Maschinen im Großen baute. Erstens war es sehr unbequem, Wasser auf das Gefäß g zu gießen, um es abzukühlen, und da die Steigeröhre k k immer nach dem ersten Zuge voll seyn muß; so brachte er

eine Röhre nebst Hahn, wie in n an, durch dessen Oeffnung sogleich eine Quantität Wasser auf die Außenseite des Gefäßes g geschüttet wurde. Dieß war aber mit so großer Wasserverschwendung verbunden, daß er hernach das andere Ende der Röhre inwendig in's Gefäß brachte, wie in der Abbildung gezeigt ist, wodurch eine viel kleinere Quantität Wasser eine schnellere und vollkommenere Verdichtung bewirkte. Er wandte auch zwei Gefäße, wie g, an, die durch besondere Röhren mit demselben Kessel communicirten, und so, daß während das eine Gefäß sein Wasser ausleerte, das andere ein Vacuum bildete, und von unten seine Ladung aufzog; durch Anwendung eines zweiten oder Hülfskessels bewirkte er eine zweckmäßige Ausgleichung des Wasserverlusts, der durch die Verdunstung in dem Hauptkessel statt hatte, ohne die Maschine anhalten zu dürfen, um sie wieder mit Wasser zu füllen. Dieß ward dadurch bewirkt, daß an der Seite des größern ein kleinerer Kessel angebracht wurde, so daß beide von demselben Feuer geheizt wurden. Beide Kessel waren dicht verschlossen, oder außer Communication mit der äußern Luft gesetzt, und eine Röhre nebst Hahn ging sehr dicht vom Boden des kleinern Kessels zu dem Obertheile des größern, folglich drückte der Dampf, der in dem kleinern Kessel erzeugt wurde, auf die Oberfläche seines eigenen Wassers, und sobald als der Hahn in der Röhre geöffnet wurde, ward alle das Wasser kochend aus dem kleinern Kessel in den größern getrieben, da denn der Hahn wieder zugemacht wurde, und sich der kleinere Kessel mittelst eines Hahns und Trichters auf's Neue mit kaltem Wasser füllte, was in ihm blieb, bis es auf's neue kochte; und so ward die Hitze des Wassers in dem größern Kessels nie durch eingebrachtes kaltes Wasser gestört, eine Sache, worauf man

bei den jetzigen verbesserten Maschinen mit größter Sorgfalt achtet.

Capt. Savery erfand und wandte auch zuerst die sogenannten Versuch- oder Probierhähne an, um auszumitteln, ob der Kessel seine gehörige Wassermenge enthielte, und auch diese sind in allen neuern Maschinen beibehalten, und ihr Nutzen ist nicht gering; denn da ein Dampfkessel seiner Natur nach dicht und verschlossen seyn muß, so erhält jede Vorrichtung, welche mit Gewißheit anzeigt, was inwendig vorgeht, Wichtigkeit.

Die Stelle der Probierhähne ist in o p und q r Fig. 115. gezeigt, und man bringt sie beständig oben auf der Außenseite des Kessels an, indeß die Röhren p und r, die von ihnen ausgehen, in denselben hinuntergehen. Ehe wir den Nutzen derselben erklären, ist es nöthig zu zeigen, daß alle Dampfkessel und besonders die der Dampfmaschinen so geräumig seyn müssen, daß die Quantität des zu kochenden Wassers sie nicht beinahe ausfüllt, sondern daß ein bedeutender Raum über dem Wasser übrigbleiben muß, um als Behälter für den Dampf zu dienen, der so wie er entwickelt wird, hineintritt. Wenn dieß nicht geschähe, so dürfte der Cylinder oder ein anderes Gefäß, was mit Dampf gefüllt werden soll, größer seyn, als der Raum oder das Volumen über dem Wasser, und in diesem Falle könnte der Dampf in keiner Weise mit der nöthigen Geschwindigkeit ersetzt werden, während dagegen, wenn der Obertheil des Kessels 5 oder 6 Mal mehr Dampf halten kann als der Cylinder bedarf, das Volum des Cylinders weggenommen werden kann, ohne sehr wesentlich die Dichtigkeit des zurückbleibenden zu verändern, und mithin wird die Geschwindigkeit der Maschine erhalten, während im Gegentheil, wenn dieß nicht der Fall wäre, sie aufgehalten werden muß, bis die fortgesetzte Wirkung des Feuers

die nöthige Dampfmenge wieder hervorbringt. Es ist also von Wichtigkeit, daß das Wasser in einem Kessel nie bedeutend über eine festgesetzte Höhe steigt, und gleichfalls ist es nöthig, daß der Kessel eine zureichende Wassermenge enthält, um Dampf hervorbringen zu können, und ihn gegen die Wirkung des Feuers zu schützen; denn wenn ein Theil des Metalls, welcher der Wirkung eines heftigen Feuers ausgesetzt ist, mit Wasser bedeckt zu seyn aufhört, so ist er in großer Gefahr verbrannt zu werden, d. i. er wird rothglühend, zersetzt sich, und erhält bald ein Loch; ein Uebel, dem alle Dampfkessel unterworfen sind, besonders wenn sie von ungeschickten Menschen besorgt werden.

Die Probierhähne zeigen bei gehöriger Beachtung zu jeder Zeit die Höhe des Wassers im Kessel an, während das Feuer darunter brennt, und zwar mit zureichender Genauigkeit, um jene Unfälle zu verhüten. Sie bestehen aus zwei kleinen Hähnen von Messing, die oben in den Kessel luftdicht eingeschraubt, und mit Röhren verbunden sind, die in den Kessel niedergehen; die Röhre des eines Hahns ist um 4 bis 6 Zoll kürzer, als die des andern, während sich die Länge der Röhren überhaupt nach der Wasserlinie des Kessels, die zuvor bestimmt ist, richtet. Wenn also s s Fig. 115. die Wasserlinie oder Höhe ist, worin das Wasser in dem Kessel d stehen sollte, so muß die Röhre p des Hahns o bis etwa 2 oder 3 Zoll über dieser Linie in den Kessel niedergehen, die Röhre r des Hahns q aber bis 2—3 Zoll unter die Linie oder so tief in's Wasser treten; mithin sobald der Hahn q geöffnet wird, muß kochendes Wasser, aber kein Dampf herausgehen, und im Gegentheil, sobald der Hahn o geöffnet wird, sollte bloß Dampf und kein Wasser herausgehen. Dieß ist der Fall, wenn der Kessel gehörig hoch angefüllt ist, und zeigt, daß die Oberfläche des Wassers an einer Stelle zwischen den

untern Enden der zwei Röhren ist: sollte der Kessel zu viel Wasser enthalten, dann ist die Oberfläche desselben über dem Ende von p, und es fließt Wasser aus beiden Hähnen; da im Gegentheil, sobald es zu niedrig oder unter dem Ende von r steht, aus beiden Dampf kömmt; allein wenn aus dem einen Dampf und aus dem andern Wasser kömmt, so kann man den Kessel als gehörig gefüllt annehmen, und er kann mit Sicherheit und Vortheil wirken. Ist eine zu große Wassermenge in dem Kessel enthalten, so muß ein Theil davon abgezogen werden, und im Gegentheil, wenn er nicht genug enthält, muß man mehr zusetzen, was mittelst einer sehr sinnreichen Vorrichtung bewirkt wird, die hernach beschrieben werden soll.

Capt. Savery gab bald nach der Einführung seiner Erfindung ein Buch über den Werth derselben unter dem Titel „the Miner's Friend" (der Freund des Bergmanns) heraus, worin er sich die Erfindung zueignet, und von ihrer Wichtigkeit rücksichtlich der Anwendung zu mancherlei Zwecken spricht, unter denen es nicht wenig auffallend ist, den, Boote oder Fahrzeuge mittelst Schaufelrädern, wie die unsern jetzigen Dampfschiffen, zu treiben oder fortzurudern, besonders bemerkt zu finden. Das Dampfboot also, was man als eine der neuesten Anwendungen der Kraft des Dampfs zu nützlichen Zwecken allgemein ansieht, ist, wie es sich zeigt, keineswegs eine neue Erfindung, sondern mit der Dampfmaschine selbst fast gleichzeitig.

Savery's Maschine scheint eine Reihe von Jahren ziemlich in Gebrauch, und die einzige in England angenommene Einrichtungsart gewesen zu seyn, obwohl sie eine sehr kostbare und kostspielige Maschine in ihrer Unterhaltung und mit Gefahr verbunden war, indem die Sicherheitsklappe noch nicht erfunden war, und um das Wasser nur 140 Fuß hoch (was für eine Mine sehr unbedeutend

ist) zu heben, Dampf von beinahe 60 ℔ Stärke für jeden Quadratzoll der Kesselfläche erfordert wurde. Die Kostspieligkeit dieser Maschine entsteht aus der Leichtigkeit, womit der Dampf durch die Berührung mit einem kalten Körper verdichtet wird, folglich muß die ganze erste Portion Dampf, die in das Gefäß g getrieben wird, durch die Berührung mit dem darin enthaltenen kalten Wasser verdichtet werden, und ist nicht im Stande, die elastische Kraft bedeutend auszuüben, bis daß das Gefäß so heiß geworden ist wie der Dampf selbst, und wenn der Dampf seine Wirkung gethan hat, so erfordert die nachfolgende Verdichtung, daß das Gefäß wieder abgekühlt werde. Es folgt also, daß weit mehr Dampf, als das Gefäß zu füllen im Stande ist, bei jedem Zuge aus dem Kessel gehen muß, da die erste Portion keine andere Wirkung macht, als das Gefäß heiß zu machen, damit die zweite Portion wirken kann, und da eine gewisse Portion Steinkohlen verbraucht werden muß, um eine gewisse Quantität Dampf hervorzubringen, so sind die Kohlen, die zur Hervorbringung der ersten Portion Dampf verbraucht werden, in Hinsicht der Krafterzeugung völlig verloren, und da die Feuerungskosten bei jeder Dampfmaschine die hauptsächlichsten sind, so ist einzusehen, daß dieß keine vortheilhafte Einrichtung seyn kann. Die Gründe werden noch mehr einleuchten, wenn die neuern Maschineneinrichtungen beschrieben sind.

Viele betrachten den Capitän Savery als den Erfinder der Dampfmalchine, nicht sowohl weil er sich die Erfindung in seinem Buche zugeeignet hat, als vielmehr weil er der Erste gewesen ist, der sie wirklich im Großen ausgeführt hat; und wenn man die oberflächliche und schwankende Beschreibung des Marquis bedenkt, und daß er sich gar nicht in das Ausführliche der Einrichtung einläßt; so ist kein großer Grund vorhanden, dem Capitän

die Erfindungsehre zu rauben. Dr. Desaguliers behauptet indeß, daß kein Beweis da sey, daß der Marquis die Zusammenziehungskraft des Dampfs nicht zu benutzen beabsichtigt habe, und will dem Savery gar kein Verdienst zugestehen, den er beschuldigt, die Erfindung gänzlich aus der Beschreibung des Marquis genommen zu haben, und selbst so weit geht, zu behaupten, daß Savery jedes Exemplar des Buches von dem Marquis, dessen er habhaft werden können, gekauft und verbrannt habe, um sich selbst die Erfindung zu sichern. Diese letzte Beschuldigung hatte aber keinen andern scheinbaren Beweis, als daß das Buch plötzlich sehr selten wurde, und nur wenige Exemplare davon, und zwar nur in den Sammlungen der Freunde von Seltenheiten, übrig blieben. (Das ganze Werk ist nachher wörtlich wieder abgedruckt in der zweiten Serie des Repertory of Arts, Vol. I. p. 180. Das Original ist im Britischen Museum Nr. 2428 der Harleiischen Mscr.)

Es ist nicht zu verwundern, daß die Erfindung einer Maschine, die so viel Vortheile versprach, wie man von der Dampfmaschine erwartete, selbst in ihrer Kindheit von Vielen in Anspruch genommen wurde, und demnach, wiewohl ihre Zeit so genau bestimmt ist, machen dennoch einige Französische Schriftsteller für ihre Nation Ansprüche darauf, und eignen sie Amotons oder Papin zu. Es ist wahr, daß diese scharfsinnigen Männer Maschinen machten, die durch die Kraft des Feuers wirkten, aber die Erfindung des Ersten, die vollständig unter dem Namen einer Feuermühle in den Mém. de l'Acad. Royale des Sciences de Paris für 1699 beschrieben ist, hat offenbar in keiner Hinsicht Aehnlichkeit mit einer Dampfmaschine, während die des Letzteren eine sehr handgreifliche Copie von Savery's Maschine mit solchen unbedeuten-

den Veränderungen ist, daß sie den Namen einer neuen Erfindung nicht verdient. Man muß indeß gestehen, daß wir dem Dr. Papin einigen Dank für seine Verbesserungen und Entdeckungen in der Anwendung des Dampfs schuldig sind, denn die wichtige Zugabe zu jedem dichten Dampfkessel, die Sicherungsklappe genannt, hat er erfunden, und er entdeckte, daß Wasser, unter dem Drucke seines eigenen eingeschlossenen Dampfs erhitzt, eine höhere Temperatur als 212 Grade zuließe und im Stande wäre, die Knochengallerte aufzulösen; daher heißt ein verschlossener Kessel mit einer beschwerten Sicherheitsklappe ein Papinianischer Topf. Aber erst nachdem Savery sein Patent erhalten hatte, ward Papin's Aufmerksamkeit auf die Mittel, Bewegungskraft durch den Dampf zu gewinnen, überhaupt gerichtet; denn alle seine frühern Forschungen waren auf die Beschaffenheit und Temperatur des Dampfs im eingeschlossenen Zustande beschränkt gewesen. Alle seine ersten Versuche, eine bewegende Kraft zu erhalten, mißglückten, ob sie gleich mit einem beträchtlichen Aufwande unter dem Schutz des Landgrafen Carl von Hessen gemacht wurden, und nur erst neun Jahre nachher, als Savery sein Patent erhalten hatte, war er im Stande, eine Bewegungsmaschine nach Principien, die den Saveryschen sehr ähnlich waren, wovon er hernach Zeichnungen gesehen zu haben eingestand, zu Stande zu bringen.

Eine Abbildung und Beschreibung der sogenannten Papin'schen Dampfmaschine findet man im zweiten Theile des zweiten Bandes von Belidor's Architecture Hydraulique; aber sie ist der von Savery so ähnlich, die bereits in Fig. 115 gezeigt ist, daß eine besondere Abbildung davon unnöthig ist; denn der Kessel d ist derselbe, außer daß für die Visirhähne o und q eine Sicherheitsklappe angebracht ist, e e ist die Dampfröhre und f der Hahn,

um den Dampf abzuschließen, oder in das Gefäß g zu lassen, was in Papin's Maschine von einem Ende bis zum andern cylindrisch und oben und unten platt ist, so daß ein rundes Stück Holz hineinpaßt, was beinahe dieselbe Stärke hat, und auf der Oberfläche des Wassers schwimmt, so wie es steigt oder fällt, und so verhütet, daß der heiße Dampf mit der Oberfläche des kalten Wassers in Berührung kömmt, welches gewiß eine Verbesserung nach Savery ist; allein bei'm Hinabsteigen des Wassers wird die Condensation, die die nassen und kalten Wandungen des Recipienten machen, nicht verhütet, und dieser Zusatz ist also von geringer Bedeutung. Statt der Saugröhre h h gebraucht Papin das Gefäß g mit Wasser, was er so tief anbringt, daß das Wasser in dasselbe bis zu der Linie m m durch eigene Wirkung hinaufsteigt, und so die Nothwendigkeit eines beinahe vollkommenen leeren Raums in g, und folglich die, das Gefäß zu dem bereits bemerkten Grade abzukühlen, erspart wird.

Wegen der Einfachheit der Maschineneinrichtung nach Savery's Plan sind viele Versuche gemacht, sie zu verbessern und in Gebrauch zu bringen; aber die Menge von Feuerung, um sehr heißen Dampf hervorzubringen, und da der größte Theil desselben bei jedem Zuge verloren geht, war Ursache, daß sie im Durchschnitt nicht zur Zufriedenheit ausgefallen sind, obgleich für kleine Höhen, wenn die Kohlenmenge nicht in Anschlag kömmt, diese Maschine so gut ist, wie eine seyn kann, um beträchtliche Wasserquantitäten zu heben. Ein gutes Beispiel von der Wirksamkeit dieser Maschinen kann man an einer derselben sehen, die nicht ganz klein ist, und sich in der Fabrik des Hrn. P. Keir zu Camden-Town befindet, die, wenn sie gut geht, 7 Kubikfuß Wasser in einer Minute zu einer Höhe von 20 Fuß über den Behälter bringt, 10 Züge in einer

Minute macht, und in 12 Stunden Thätigkeit 6 Scheffel Kohlen verbraucht. Dieß Wasser wird verwandt, um ein überschlächtiges Wasserrad von 18 Fuß Durchmesser zu treiben, was durch sein Umdrehen die Hähne in gehörigen Intervallen öffnet und schließt, und die Maschinerie in der Fabrik dreht. Dieß ist nur etwa die Hälfte Kraft, die von derselben Kohlenmenge zu gewinnen wäre, wenn sie zur Dampferzeugung für eine Maschine nach der neuesten und besten Einrichtung verbrannt würde.

Unter den Versuchen, diese Art Maschine zu verbessern, sind die von William Blakey, James Boaz von Glasgow und J. Pontifex von London die vorzüglichsten. Die beiden Letzten erhielten Patente, und die Maschine des Ersten wurde vor langer Zeit in einer Grube in Cornwall mit großen Erwartungen versucht, aber ein Unfall machte dem Versuche ein Ende; denn der Dampfkessel platzte mit solch einer schrecklichen Explosion, daß die Unternehmer abgeschreckt wurden, den Plan weiter zu verfolgen, der in der Anwendung zweier Dampfgefäße, wie g in Fig. 115, bestand, allein das eine war über dem andern angebracht, und zwischen beiden befand sich eine offene Communicationsröhre. Der Dampf ward bloß in das obere Gefäß gelassen, indeß das untere mit Luft gefüllt war, die durch die wechselsweisen Ausdehnungen und Zusammenziehungen des Dampfes bethätigt, diese Bewegung wieder auf das Wasser übertragen sollte, dessen Oberfläche mit Oel bedeckt war, um den Verlust der Hitze um so wirksamer zu verhüten. Diese Vorrichtung war überhaupt zu künstlich und fein, um practische Anwendung zuzulassen; aber da die Verdichrung in dem untern Gefäße stattfinden sollte, während Luft und Dampf zusammengemischt wurden, und das obere Gefäß überhaupt nicht abgekühlt werden konnte, so erwartete man, daß sich der Dampf zu

Wasser verdichten würde, wobei die Luft nur eine geringe Verminderung ihres Volumens erleiden, und das obere Gefäß einnehmen würde, was zur Aufnahme einer zweiten Dampfladung fertig wäre, während das untere Gefäß sich mit Wasser anfüllte, und so wechselsweise fort; allein der Erfolg fiel ungünstig aus.

Es ist bemerkenswerth, daß der dabei gebrauchte Kessel kein großes verschlossenes Gefäß war, was man über ein Feuer setzt, sondern aus einer Reihe von eisernen Röhren bestand, die mit einander verbunden waren, und in schrägen Richtungen mit dem Ofen liefen, eine Einrichtung, die, wie man finden wird, mit derjenigen sehr nahe zusammentrifft, die man gemeinlich für eine neuere Verbesserung hält, und die nachher in Verbindung mit der sogenannten Woolfschen Dampfmaschine beschrieben werden wird.

Die Versuche, die mit Savery's und Blakey's Maschinen in den Cornwall'schen Zinngruben gemacht wurden, leiteten zu dem nächsten großen Schritte, der in der Verbesserung dieser wichtigen Maschine gemacht wurde: denn ein Herr Newcomen von Dartmouth in Devonshire hatte häufige Gelegenheit, diese Gruben zu besuchen, und da er ein Mann von Scharfsinn und Kenntnissen war, sah er die Gefahren und Schwierigkeiten, denen sie ausgesetzt waren, und ward in den Stand gesetzt, eine Maschine zu erfinden, wodurch sie in großem Maaße verhütet wurden, wiewohl Einige behaupten, daß das Verdienst dieser Erfindung Papin zukomme. Papin scheint sich zu gleicher Zeit mit Entwürfen beschäftigt zu haben, durch den Druck der Atmosphäre eine Bewegungskraft hervorzubringen, und sie durch Röhren in eine weite Entfernung zu leiten, obgleich es erhellet, daß er überhaupt hinsichtlich der besten Mittel, den nöthigen leeren Raum hervorzubrin-

gen, nie mit sich einig geworden ist, denn ein Mal schlug er große Luftpumpen, die durch eine starke Mühle in Thätigkeit gesetzt werden sollten, dazu vor, ein ander Mal das Abbrennen von Schießpulver, und zuletzt die Hervorbringung und Verdichtung von Dampf. Obwohl diese Entwürfe bekannt gemacht wurden, so scheint sie doch Niemand benutzt, oder eine Maschine nach ihren Grundsätzen gebaut zu haben, bis zur Zeit von Newcomen, der also als der Erfinder anzusehen ist, wiewohl es ziemlich gewiß ist, daß er mit Papin's Ideen bekannt war, wie aus einer Correspondenz und aus Papieren des Dr. Hooks erhellete, die man nach seinem Tode fand.

Newcowen's Maschine war die erste, in welcher ein richtig gebohrter Cylinder mit einem genau passenden Kolben angewandt, und die Hülfe des atmosphärischen Drucks, statt der weniger in Maaß zu haltenden Kraft des Dampfs, benutzt war, weßhalb diese Maschine sehr gewöhnlich die atmosphärische Dampfmaschine genannt wird. Der große Vorzug, den sie vor Savery's Maschine besitzt, ist, daß der Dampf in keinem Falle viel stärker zu seyn braucht, als den Druck der Atmosphäre zu balanciren, wodurch alle Gefahr gehoben und eine viel geringere Menge Feuerung erforderlich ist. Hr. Newcomen erhielt ein Privilegium auf seine Maschine, und verband sich zu ihrem Bau mit einem Glaser aus derselben Stadt, Hrn. Cawley; aber in der ersten Zeit der Entdeckung hatte er so gut wie Dr. Papin, wie es scheint, nicht daran gedacht, den Dampf zu benutzen, sondern bloß darauf geachtet, daß, wenn er ein Vacuum unter einem Stämpel in einem großen Cylinder hervorbringen könnte, der Druck der Atmosphäre ihn mit solch einer Kraft hinuntertreiben würde, um eine nutzbare Kraft hervorzubringen; und hätte er nicht die Wirkungen von

Savery's Maschinen in Cornwall gesehen, und das Vacuum, was sie durch den Dampf herstellten, so würde er wahrscheinlich nicht darauf gekommen seyn, diese Kraft anzuwenden. Ihm ward sogar von dem berühmten Dr. Hooke abgerathen, seine Versuche fortzusetzen, weil dieser überzeugt war, daß es in der Ausführung unmöglich seyn würde, unter einem großen Stämpel solch ein Vacuum zu erhalten, was vortheilhafte Wirkungen thun könnte, obgleich er einräumte, daß, wenn dieß erwirkt werden könnte, die Maschine brauchbar seyn müßte. Die Methode, ein Vacuum durch Dampfverdichtung zu erhalten, gehörte indeß dem Capitän Savery an, und war ihm durch sein Patent zugesichert, folglich konnte Newcomen keinen Gebrauch davon machen, bis eine Unterhandlung zwischen den Betheiligten statt hatte, und im Jahr 1705 ein neues Patent erlangt wurde, worin die Namen Savery, Newcomen und Cawley als Theilnehmer erschienen, ob es gleich bekannt war, daß der einzige Beistand, den Savery leistete, bloß die Genehmigung war, seine privilegirte Methode, ein Vacuum zu erhalten, gebrauchen zu dürfen.

Die Einrichtung von Newcomen's Maschine, wie sie nun erschien, ist in Fig. 116 abgebildet, worin t t der Kessel und Ofen zur Dampferzeugung nach obiger Beschreibung ist; v ist ein Cylinder, der inwendig richtig gebohrt, und oben offen und unten verschlossen ist; unten ist er mit dem Obertheil des Kessels mittelst einer kurzen Röhre u verbunden, die den Dampfhahn enthält. Ein Stämpel w bewegt sich in dem Cylinder luftdicht auf und nieder und zwar mit so wenig Reibung als möglich, indem man ihn mit lockerem Hanf umwickelt und seine obere Fläche mit Wasser bedeckt. Die Kolbenstange x ist mittelst einer Kette y mit dem Kreisabschnitt z, und demnach mit dem

Theile z a b verbunden, der der Maschinenbalken heißt, und der jetzt zu allererst angebracht wurde. Der Maschinenbalken wurde aus starken zusammengefügten Stämmen gebildet, durch eiserne Bolzen und Reife verstärkt, und so eingerichtet, daß er sich auf dem eisernen Zapfen oder Axe a bewegte und balancirte, der auf einer starken Backsteinmauer c lag, die gewöhnlich die eine Seite des Gebäudes, das die Maschine enthielt, ausmachte, und so, daß das Ende z des Balkens innerhalb des Gebäudes lag, und das Ende b in die freie Luft hinausstand. Eine andere Kette d ist mit dem äußern gewölbten Ende b des Balkens verbunden, und an ihr hängt die Kolbenstange e e der Pumpe, die in dem Brunnen oder der Grube f wirken soll. Diese letzte Kolbenstange ist mit einer der in Fig. 95, 96 oder 100 abgebildeten Pumpen verbunden, die durch das Aufsteigen ihrer Kolben Wasser heben, weil die Kraft dieser Maschine in dem Aufzuge des Balkenrades b liegt. Wenn die Tiefe des Brunnens f beträchtlich ist, so ist die Kolbenstange e e selbst zureichend, um als Gegengewicht zu wirken, aber wäre dieß nicht der Fall, so müssen der Stange Gewichte wie in g g zugesetzt werden, bis sie das Gewicht des Dampfkolbens und Stange w, x und seine Reibung im Cylinder etwas überwiegen, so daß, wenn der Hahn u geöffnet, und Luft in den untern Theil des Cylinders v gelassen wird, der Stämpel w zu seiner Höhe ohne Anwendung fremder Gewalt steigen kann; wäre die Pumpenkolbenstange e e so schwer, daß sie den Dampfkolben w zu gewaltsam hinaufzöge, oder ihn gegen den Druck der Atmosphäre, die darauf wirkt, wenn der Hahn u zu ist, hinaufzöge, dann müßten Gegengewichte an die Dampfkolbenstange x, oder das Ende z des Balkens, gefügt werden, bis die Maschine gehörig gerichtet ist, was nicht der Fall seyn wird, bis der Dampfkolben gleichmäßig

und nach und nach steigt, wenn der Hahn u geöffnet ist, um Luft einzulassen; denn während dieser Richtung wird vorausgesetzt, daß kein Feuer unter dem Kessel ist, und folglich kein Dampf hervorgebracht wird. Eine sich nach außen öffnende Sicherheitsklappe ist auf dem Obertheile des Kessels angebracht, wie in h, und diese wird durch den Hebel i und das Gewicht k verschlossen gehalten, die, wenn sie mehr oder weniger von der Klappe entfernt sind, mit minderer oder mehrerer Kraft wirken, und den Dampf entweichen lassen, wenn er einmal zu stark werden sollte. Nach dieser Beschreibung der Gestalt dieser Maschine wird man ihre Wirkungsart sehr einfach finden. Um sie in Gang zu bringen, muß der Kessel t seine gehörige Wasfermenge enthalten, und wenn der Hahn u geöffnet ist, muß der Dampfkolben w niedergezogen werden, bis er den Boden des Cylinders berührt, wodurch alle vorher darin enthaltene Luft durch den Hahn u in den Kessel niedergeht, und von da durch die Sicherheitsklappe h entweicht. Jetzt muß der Hahn u verschlossen werden, mithin kann der Stämpel w wegen der auf ihn drückenden äußern Luft nicht steigen. In diesem Zustande steht die Maschine, bis durch Anzünden des Feuers Dampf hervorgebracht wird, und zwar von größerer Stärke, als dem Drucke der Atmosphäre gleichkömmt, da denn bei'm Oeffnen des Hahnes u dieser Dampf im stärkern oder mindern Grade in den Cylinder v tritt, und den Stämpel aufsteigen läßt, theils durch den Druck des Dampfs, theils hauptsächlich in Folge der Gegengewichte g g, so daß man die Geschwindigkeit der Bewegung mit der größten Genauigkeit bestimmen kann. Ehe der Stämpel noch ganz die Höhe des Cylinders erreicht, muß der Dampfhahn u geschlossen werden, wodurch der Balken zum Stillstande kömmt, und der Cylinder voll Dampf bleibt, bis er durch Abkühlung

verdichtet wird. Um diese Verdichtung zu bewirken, ist ein kleiner Wasserbehälter l hoch gestellt, der durch eine Röhre m m, die aus der Pumpe in den Brunnen f geht, mit kaltem Wasser versorgt wird, und n ist eine andere Röhre, die aus dem Boden des Wasserbehälters in den Boden des Cylinders v geht, so daß durch Oeffnung des Hahns in o eine kleine Quantität Wasser in den Cylinder gelassen wird, um den Dampf zu verdichten, und ein Vacuum hervorzubringen, da denn der Druck der äußern Luft oben auf den Stämpel w wirkt, und macht, daß er mit einer seinem Umfange angemessenen Kraft niedergeht; da nun dieser Druck 15 Pfd. auf jeden Quadratzoll sehr nahe kömmt, so wird er, wenn der Kolben gehörig stark ist, völlig stark genug, um das Ende b des Balkens und jede Pumpe oder andere daran befindliche Beschwerung in Bewegung zu setzen; denn wenn der Cylinder nur 2 Fuß im Durchmesser hat (was für solch eine Maschine keineswegs viel ist), so enthält die Grundfläche seines Kolbens $452\frac{3}{4}$ Zoll, was mit 15 Pfd. oder dem Druck auf einen Quadratzoll multiplicirt, nicht weniger als $6,785\frac{3}{4}$ Pfund beträgt, und $\frac{1}{4}$ für die Reibung der Maschine abgezogen, bleibt die effective Kraft, die auf den Kolben wirkt, $5,089\frac{1}{2}$ Pfund.

Diese Maschine war Anfangs weit unvollkommener, als sie hier beschrieben ist, und hatte viele Mängel und Unbequemlichkeiten, die nach gerade gehoben wurden; denn die Verdichtung ward anfänglich von außen am Cylinder bewirkt, statt Wasser in denselben einzulassen, und es war die größte Genauigkeit und Aufmerksamkeit von Seiten des Arbeiters nothwendig, um die beiden Hähne genau zur gehörigen Zeit zu drehen; denn wenn der Dampf zu lange in den Cylinder eingelassen wurde, so ward der Stämpel hinausgetrieben, und aus seiner Stelle gebracht; dagegen,

sobald der Hahn nicht früh genug geöffnet wurde, wenn der Stämpel niederging, er mit solcher Gewalt gegen den Boden des Cylinders stieß, daß er ihn in Stücken brach. Auch ist der Dampf, der die Maschine in Thätigkeit setzt, beständig mit einer gewissen Portion Luft vermischt, die sich aus dem Wasser bei'm Sieden entwickelt, und diese sammt dem kalten Wasser, was in den Cylinder gelassen wurde, um die Verdichtung zu bewirken, häufte sich so schnell an, daß eine Röhre nöthig wurde, um beide nach unten in eine Cisterne auszuleeren. Sonach ward eine solche Röhre angebracht, die sich unten in eine Klappe endigte, um das Vacuum zu schützen. Die Lage dieser Röhre und Klappe ist in p p in der Figur gezeigt. Das Wasser und alle Luft im Cylinder ward aus dieser Klappe durch die letzte Wirkung des Kolbens im Niedergehen, ehe er an den Boden des Cylinders kam, getrieben, und so wurde der Cylinder zwischen jedem frischen Eindringen des Dampfs entleert. In Erwägung der Schwierigkeiten, die mit der Vervollkommnung einer so complicirten Maschine, wie die Dampfmaschine, verbunden sind, ist es wahrlich zu verwundern, was für schnelle Fortschritte zu ihrer Vollendung binnen 7 Jahren nach ihrer ersten Einführung seit 1705 gemacht wurden. Einige Verbesserungen derselben waren zwar zufällig, denn die der Verdichtung des Dampfs durch Injection von kaltem Wasser in den Cylinder, statt es äußerlich anzuwenden, entstand daher, daß einige Löcher in dem Stämpel einer Maschine waren, die das Wasser, was über ihm war, um ihn luftdicht zu erhalten, durchlaufen ließen, so daß es den Dampf verdichtete: und die große Schwierigkeit, die Hähne im richtigen Augenblick zu öffnen, ward durch einen Burschen, Namens Humphrey Potter besiegt, der einige Schnüre und Haken an den Hähnen einer Maschine befestigte, die er

zu Wolverhampton bedienen mußte, um sich von der Mühe, darauf achten zu müssen, zu befreien, und die wiewohl grob gemacht, doch ihren Dienst sehr gut thaten, und die erste Idee zu der Maschinerie gaben, wodurch die Klappen oder Hähne aller Dampfmaschinen jetzt durch die unmittelbare Thätigkeit der Maschine selbst geöffnet und geschlossen werden.

Diese Art Maschine konnte vor dem Jahre 1718 nicht vollkommen genannt werden, da Henry Beighton von Newcastle an der Tyne, eine starke Dampfmaschine nach dieser Grundlage mit vielen wichtigen Verbesserungen baute, die aber hauptsächlich die künstliche Kraft, und die Weise, den Dampf zuzulassen und abzuschließen, betrafen, welches letzte mittelst seines Zapfenbaums geschah, der durch gewisse Hebel und Haken wirkte, und die Klappen in Gang setzte; die Befestigung des Cylinders ward von ihm gleichfalls sehr verbessert, allein er stand noch immer unmittelbar über dem Kessel, wie in Fig. 116. Auch wandte er zuerst ein kleines Druckwerk an, um Wasser in den Kessel zu treiben, um den Verlust der Verdunstung zu ersetzen, und die Maschine, obgleich in der Grundlage unverändert, ward mit ihren Zusätzen für so vollkommen gehalten, daß man weitere Verbesserungen kaum erwarten konnte; auch blieb sie, obgleich fast allgemein angenommen, fast ein halbes Jahrhundert unter dem Namen von Beightons Feuermaschine unverändert.

Nach der Angabe, die über die ungeheure Kraft gemacht ist, die in dem Cylinder einer dieser Maschinen, wenn sie im Gange sind, in Wirkung kömmt, muß das Unpaßliche, solch einen Cylinder über einen Kessel zu setzen, der von einem starken Feuer bedient wird, einleuchten; denn wie stark auch das Gemäuer des Ofens seyn mag, so muß es doch einer schnellen Zerstörung durch die Wirkung des

Feuers unterworfen seyn, und wenn diese statt hat, so muß eine Störung der ganzen Einrichtung der Maschine die Folge seyn; und trotz der Verbesserung von Beighton, der seine Cylinder zwischen starken Balken einstützte, so daß sie nicht gänzlich auf dem Kesselgemäuer ruhten, war dennoch die Erschütterung so stark, daß der Ofen bald zerrüttelt und zerstört wurde; denn der Kolben mußte bei'm Aufsteigen den ganzen Kessel und Cylinder wirklich so weit in die Höhe heben, als die Elasticität der Bäume es gestattete, und sie bei'm Rückzuge hinabdrücken und wieder in die Stelle setzen, eine Wirkung, die alle gesehen haben müssen, die sich des Ganges dieser Maschinen erinnern können, und die der Verfasser an einer der vollkommensten Maschinen dieser Art oft bemerkt hat, welche zu der Zeit des sinnreichen Smeaton gebaut werden konnten, nämlich der in den ehemaligen York Buildings Water Works in Villiers-streelt, die im Jahr 1813 niedergerissen wurde, um einer vollkommnern Maschine der Herrn Watt und Boulton Platz zu machen. Der ebenbemerkte Mangel ward indeß in einigen Fällen dadurch gehoben, daß man sich der frühern Einrichtung von Savery bediente, nämlich der, den Cylinder neben den Kessel zu setzen, anstatt darüber, und ihn auf einen festen und massiven Block von Backstein und Mauerwerk, der keine Verbindung mit dem Feuer hatte, festzunieten. Hierdurch ward nicht nur mehr Dauerhaftigkeit erzielt, sondern die frühere große Höhe, und die dadurch nöthigen Unkosten des Maschinenhauses wurden vermieden.

Da die Dampfmaschine zu dieser Zeit für vollkommen gehalten wurde, so war die Aufmerksamkeit der Männer von Kenntniß nicht so sehr darauf gerichtet, sie mechanisch zu verbessern, als vielmehr den Verbrauch der Feuerung zu vermindern; denn die Maschine ward in dieser

Zeit nicht anders als im Großen gebraucht, und wo man sich ihrer bediente, fand man, daß sie äußerst viel Brennmaterial verzehrte. Man kannte aber das Wesen der Wärme und des Dampfs noch nicht hinlänglich, um einzusehen, daß der Grundfehler in der Maschine selbst lag, und nicht im Kessel, was nachher entdeckt wurde, und sonach finden wir in dieser Zeit mancherlei Versuche, die mit verschiedenen Kesselformen gemacht wurden, um die größte Menge Dampf bei der geringsten Feuerung hervorzubringen. Unter diesen ist Payne's Methode zu bemerken, die in Nro. 461 der „Philos. Transact." beschrieben ist, von welcher große Wirkungen erwartet wurden, die aber in der praktischen Ausführung sich nicht bewährte. Sie bestand darin, daß sehr kleine Wasserströme durch eine Reihe sich drehender Springröhren in die innere Seite eines hohlen umgekehrten Kegels von Gußeisen, der durch ein umgebendes Feuer in einem rothglühenden Zustande erhalten ward, gebracht wurden; aber das Wasser wurde eher zersetzt, als in Dampf verwandelt, so daß sehr wenig Dampf erzeugt, und die Einrichtung verworfen wurde. Es ward indeß sehr bald ausgemittelt, daß die Form des Kessels, die der Wirkung des Feuers die größte Oberfläche darbot, und die Hitze nicht eher im Rauchfange hinaufziehen ließ, bis beinahe die ganze Kraft derselben erschöpft war, die beste wäre, und sonach mußten bei einigen Kesseln, die unter Smeaton's Anleitung gemacht wurden, Flamme und Rauch durch ein völliges Labyrinth von Kanälen gehen; allein die Menge von Winkeln und scharfen Ecken, die so der Einwirkung des Feuers ausgesetzt waren, wurden nicht nur sehr leicht verbrannt und zerstört, sondern machten die Einrichtung des Kessels weit kostspieliger, ohne ein verhältnißmäßig vortheilhaftes Resultat hervorzubringen, weßhalb die Form der Maschinenkessel jetzt sehr vereinfacht ist, und

selbst bei den größten Maschinen bringen Watt und Boulton nur ein einziges Rauchloch oder Kamin in der Mitte durch den Kessel an, der im Durchschnitt die Form von Fig. 117. hat, und wegen seiner Aehnlichkeit mit dem Körper eines Wagens, über den eine Decke geworfen ist, sehr gewöhnlich der Wagenkessel genannt wird. Er hat eine länglichte Gestalt wie a b c d mit einem halbcylindrischen Deckel e f, welcher der einzige vorstehende und sichtbare Theil über dem Gemäuer ist, in dem er ruht. Die Größe dieser Kessel wechselt von 5 zu 20 Fuß in der Länge, je nach der Stärke der Maschine, zu der sie angewandt werden, wobei ihre Weite und Tiefe nach gewissen angenommenen Verhältnissen gemacht wird. So ist bei einer sogenannten Dampfmaschine von zwanzig Pferdestärken der Kessel gewöhnlich 15 Fuß lang und 6 Fuß weit, so daß er 90 □Fuß auf der Wasseroberfläche hat, wobei die Höhe vom Boden bis an die Kuppel 7 Fuß beträgt. Ein Kessel für eine Maschine von 14 Pferdekräften bietet auf gleiche Art etwa 60 □Fuß Oberfläche dar, und eine von der Stärke von 80 Pferden 360 Fuß, und so fort. Das Feuer wird auf dem Roste g gemacht, der sich etwa bis zur halben Länge des Kessels oder nicht ganz so weit erstreckt, wobei h das Loch ist, in das die Asche fällt; das Backsteingemäuer des Ofens, tritt über den Rost in i, so daß es den Theil bildet, den man die Brücke nennt, um die Feuerung zu hindern, daß sie nicht in das Rauchloch geht, und die Flamme gerader gegen den Boden des Kessels zu richten, worauf sie durch den gewölbten Rauchfang k in die Metallröhre, oder den Rauchfang l m geleitet wird, der durch die ganze Länge des Kessels unter der Oberfläche des zu siedenden Wassers geht, und durch ihn wird Flamme und Rauch nach dem Vordertheil m gebracht, von wo beide durch zwei horizontale Rauchzüge n n wieder zurückgehen, die längs beider

Seiten des Kessels laufen, und den Rauch in den senkrechten Schornstein o bringen. Eine ovale Gußeisenplatte p ist gewöhnlich mit Schraubenbolzen über ein Loch im Obertheil jedes Kessels befestigt, was groß genug ist, um einen Menschen zur Reinigung, Ausbesserung und Untersuchung der Innenseite hineinzulassen, weßhalb diese Oeffnung den Namen des Mannslochs (Manhole) erhalten hat: q ist der Dampfbarometer, r r sind die Probierhähne, die S. 295 beschrieben sind, und s ist ein Hahn, um den Kessel von Wasser zu entleeren, oder eine vielleicht überflüssige Portion desselben heraus zu lassen: t t t ist das Backsteingemäuer des Ofens oder Heerds, dessen Vordertheil als weggenommen zu betrachten ist, um den Kessel, die Roste, Rauchfänge u. s. w. zu zeigen.

Alle die Maschinen, die bis dahin angeführt sind, (bloß mit Ausnahme des Entwurfs von Amotons) haben entweder den unmittelbaren Zweck, Wasser zu heben, oder sind bloß im Stande, eine senkrechte wechselwirkende Bewegung durch das Steigen und Fallen des Stämpels hervorzubringen, die entweder unmittelbar in Wirkung gebracht, oder mittelbar durch den Balken, wie in Fig. 116. mitgetheilt werden kann, in welchem Falle die Ketten y d, die über die kreisabschnittförmigen Enden des Balken z, b gehen (und die wegen ihrer Bewegung und allgemeinem Ansehn den Namen Pferdeköpfe erhalten haben), völlig ausreichen würden, weil die Anspannung beider Ketten sowohl durch den atmosphärischen Druck auf den Dampfkolben an einem Ende, als durch die Wassersäule, die die Pumpe heben soll, am andern, immer nach unten und senkrecht gehen würde, und die gewölbten Balkenenden, als concentrisch hinsichtlich der Balkenaxe, gleichfalls dem Zweck entsprechen, und machen würden, daß die Kolbenstangen an beiden Enden senkrecht und parallel mit einander wirkten. Aber da eine

vertrautere Bekanntschaft mit der Kraft der Dampfmaschine die Mechaniker dahin brachte, ihre Aufmerksamkeit darauf zu richten, sie als eine Grundkraft anzuwenden, um Maschinerien sowohl wie Wasserpumpen Bewegung zu geben, so ward es in vielen Fällen nöthig, die wechselwirkende Thätigkeit des Balkens in eine beständige Rotationsbewegung zu verwandeln, was bei den bereits beschriebenen Ketten und Kreisabschnitten ganz unmöglich war. Hr. Keane Fitzgerald scheint der Erste gewesen zu seyn, der diese schätzbare Verbesserung versuchte. Wie aus den Philos. Transact. des Jahrs 1759 erhellt, machte er sie dadurch, daß er die Ketten wegschaffte, und Zähne an den äußern Rändern der Endsegmente des Balkens machte, welche in Räder oder Getriebe griffen, die mit Aushebern versehen waren. Wiewohl diese Erfindung sinnreich war, so fiel es doch sehr schwer, sie wirksam zu machen, und zwar wegen der ungleichen Bewegung und Kraft des Kolben, der in seiner höchsten und niedrigsten Lage eine kurze Zeit bewegungslos ist, und mithin keine Kraft hat; und wenn gleich Hr. Fitzgerald ein Patent für seine Erfindung erhielt, erhellet weder, daß sie gebraucht, noch zur Vollendung gediehen sey; auch war die Dampfmaschine überhaupt noch nicht geschickt gemacht, Radbewegung hervor zu bringen, bis das Knie- und Schwungrad auf die Weise, wie sie jetzt immer zu diesem Zweck angewandt werden, zu Hülfe genommen wurden. Fig. 118. zeigt die Weise, wie diese Zusätze an einer Dampfmaschine angebracht werden; v ist das Balkenende, dem gegenüber, auf welches der Kolben wirkt, und u u ein schweres Schwungrad von Gußeisen, was nicht selten 19 bis 20 Fuß Durchmesser hat, und mehrere Tonnen wiegt. Es dreht sich um eine Welle oder Axe x, die auf einem paßlichen Gestell fest liegt, und an eben dieser Welle ist das Knie oder der

Arm w befestigt, dessen entgegengesetztes Ende z durch das Stück y mittelst eines Ringgelenks an das Balkenende v gefügt ist. Das Knie muß so an der Schwungradwelle festsitzen, daß wenn der Balken horizontal oder in der Mitte seines Zuges ist, auch das Knie horizontal ist, folglich wenn der Stämpel ganz hinunter ist, das Ende des Kniees ganz hinauf, oder über der Axe x, und gerade darunter ist, wenn der Stämpel ganz hinauf ist. In diesen beiden Lagen kann der Stämpel keine Kraft haben, das Knie und Rad herumzutreiben, wie er in jeder ander Lage hat; aber da das Rad durch die Bewegung Schwung erhält, so erzeugt die Bewegung, die dem Knie mitgetheilt ward, während es aus der obern punctirten Lage a zu der untern b geht, so viel Moment, daß es das Rad stillzustehen hindert, wenn das Knie entweder nach a oder nach b kömmt, und bringt es so über oder unter das Centrum, wenn der Stämpel keine Kraft hat, und setzt es folglich in eine günstige Lage, um bethätigt zu werden, sobald der Stämpel wieder Bewegung und Kraft erhält. Auf diese Art kann die wechselwirkende Bewegung eines Dampfmaschinenbalkens in eine Radbewegung verwandelt werden, die äußerst regelmäßig und genau ist, vorausgesetzt, daß das Schwungrad hinlänglich groß, schwer und schnell in seiner Bewegung ist, um die Kraft durch den Aufwand seines eigenen Schwunges, während der augenblicklichen Aufhebung der Kraft der Maschine, oder während der Stämpel seine Richtung ändert, zu unterhalten. Das Schwungrad und Knie erzeugen nicht nur Radbewegung bei der Dampfmaschine, sondern erfüllen einen andern sehr wichtigen Zweck, indem sie die Länge des Stämpelzugs mit der größten Genauigkeit beschränken, und so die Möglichkeit der bereits bemerkten Unfälle verhüten, nämlich daß der Stämpel gegen das Obertheil oder den Boden des

Dampfcylinders stößt. Sie wurden zuerst von Mr. Mathew Washbrough von Bristol bei Maschinen angewandt, der 1778 ein Patent auf diese Erfindung erhielt.

Von allen Verbesserungen, die an der Dampfmaschine gemacht wurden, sind die von James Watt von Soho bei Birmingham die vollkommensten und überraschendsten. Es kann als ein glücklicher Umstand für die Welt betrachtet werden, daß sein fähiger und heller Kopf auf diese Maschine geleitet wurde, dadurch, daß er ein kleines Modell einer Dampfmaschine, was der Universität Glasgow gehörte, im Jahr 1763 auszubessern hatte. Dr. Black verfolgte in derselben Zeit seine wichtigen Untersuchungen über die Wärme, und untersuchte den Grund, warum sie in kochenden Flüssigkeiten gebunden würde, und Watt, der mit ihm und den Gegenständen seiner Forschung vertraut war, machte einige Versuche über die Erzeugung und Verdichtung des Dampfs zu seinem Vergnügen. Im Verlaufe derselben wurden manche merkwürdige Thatsachen enthüllt, und unter andern besonders, daß wenn eine Quantität Wasser in einem verschlossenen Gefäß mehrere Grade über den Siedepunct erhitzt wird, und nun ein Hahn oder eine Klappe geöffnet wird, der Dampf mit Heftigkeit ausströmt, und die Hitze des Wassers in zwei oder drei Secunden auf den gewöhnlichen Siedepunct reducirt ist, ungeachtet die Menge des Wassers sehr beträchtlich seyn kann. Diese plötzliche Abkühlung erklärte er durch die Annahme, daß der Dampf bei'm Entweichen alle überflüssige Hitze mit sich nähme, was, wie man nachher gefunden hat, der Fall ist. Er schloß also, daß da der Dampf eine so große Menge Hitze enthält und mit sich wegzuführen im Stande ist, eine große Menge Feuerung erforderlich seyn müsse, um ihn in großen Quantitäten hervorzubringen, welchem durch keine Form oder Einrichtung des Kessels oder Ofens

abgeholfen werden kann. Es war zuvor bekannt, daß Wasser, in einem offenen Gefäß gekocht, nie stärker als zu 212° erhitzt werden konnte, wie stark auch das Feuer wäre, und Dr. Black entdeckte, daß alle die überflüssige Hitze, nach den 212 Graden, durch den Dampf aus dem Wasser weggeführt würde, so lange als man ihn entweichen ließe, daß aber, wenn er eingeschlossen würde, das von Papin entdeckte Uebermaaß der Hitze die Folge wäre. Watt also, statt die Maschine als vollkommen zu betrachten, und Verbesserungen im Dampfkessel zu versuchen, wie Andere vor ihm thaten, richtete seine Aufmerksamkeit auf Sparung der hervorgebrachten Hitze, und auf die Methode, sie mit dem möglichsten Vortheil anzuwenden.

Er fand, daß der Cylinder seiner kleinen Maschine so heiß wurde, daß er ihn in dem Augenblick, als Dampf in ihn gelassen wurde, mit der Hand nicht anfassen konnte, weil der Cylinder den Dampf abzukühlen, oder ihm die Hitze zu entziehen anfing, und die Wirkung derselben Elasticität, die er vor seinem Eintritt hatte, nicht gestattete, bis der Cylinder so heiß, wie der Dampf selbst war. Auch nahm er an, daß diese ganze Wärmemenge verloren gehen müßte, weil, ehe der Stämpel mit einer beträchtlichen Wirksamkeit niedergehen könnte, der Cylinder auf's Neue durch die Injection von kaltem Wasser abgekühlt werden müßte, um diesen Dampf wieder zu verdichten und ganz in den Wasserzustand zurückzubringen; worauf er wieder heiß gemacht werden müßte, ehe er seinen nächsten Zug machen könnte. Mithin wäre die ganze Wärmemenge, die zwischen jedem Zuge zur Erwärmung des Cylinders verbraucht würde, nicht nur verschwendet, wiewohl sie einen großen Aufwand von Feuerung gekostet hatte, sondern für die Thätigkeit der Maschine wirklich verderblich, weil es weit schwe-

rer wäre, den Cylinder plötzlich abzukühlen, als zu erwärmen. Watt machte deßhalb einige Versuche, die Quantität des Dampfs, die bei'm Erwärmen des Cylinders zwischen jedem Zuge verloren ginge, auszumitteln, und fand, daß sie nicht weniger betrug, als das Dreifache des Cylinderinhalts, so daß jeder Zug der Maschine, statt einen Cylinder voll Dampf aus dem Kessel wegzunehmen, wirklich ihrer vier wegnahm, und daß die ersten drei völlig verloren gingen, ohne eine andere Wirkung zu thun, als den Cylinder so weit zu erwärmen, daß der vierte seine Wirkung thun konnte. Er war überzeugt, daß dieß nöthige Erwärmen und Abkühlen des Cylinders die Grundunvollkommenheit der Maschine sey; aber die Schwierigkeit lag darin, ihr abzuhelfen; denn seine Versuche zeigten ihm, daß um den Dampf mit dem besten Vortheil zu benutzen, der Cylinder immer so heiß gehalten werden müßte, wie der Dampf selbst, und doch, wenn dieß geschähe, keine Verdichtung erwirkt werden könnte. Sein erster Verbesserungsversuch war, daß er statt des vorhin gebrauchten Metallcylinders einen hölzernen anwandte, indem er glaubte, daß, da das Holz ein schlechterer Wärmeleiter als das Metall sey, der hölzerne die Wärme nicht so schnell fortführen würde. Der hölzerne Cylinder that die erwartete Wirkung, was den Hrn. Watt völlig von der Wahrheit seiner Voraussetzung überzeugte, aber weil er bei der Füllung mit Dampf quoll und rauh wurde, so ward die Reibung so stark, daß dieß Material unbrauchbar wurde, und Watt wieder den Messingcylinder zurücknahm, den er jetzt auswendig in Holz fütterte, und alle Zwischenräume mit Kohlenstaub ausfüllte, um so viel, als möglich, die Abkühlung zu verhüten, die die äußere Luft machte. Durch dieß Mittel und das Einspritzen von nicht mehr Wasser in den Cylinder, als zur Verdichtung des Dampfs unumgänglich

nöthig war, erreichte er den Zweck, den Verlust auf die Hälfte des vorherigen zu reduciren. Allein durch Anwendung einer so kleinen Menge von Verdichtungswasser ward die Kraft der Maschine sehr wesentlich vermindert, wenn schon der Dampf gespart wurde; denn der Cylinder ward nie viel unter den Siedepunct abgekühlt, folglich war die Verdichtung darin sehr unvollkommen, und es blieb noch eine Menge beträchtlich elastischen Dampfes zurück, der dem Drucke der Atmosphäre in einem sehr bedeutenden Grade entgegenwirkte. Er war indeß ganz überzeugt, daß die in dem Cylinder stattfindende Verdichtung entweder so unvollkommen seyn müßte, oder wenn sie durch sonstige Abkühlungsmittel vollständig würde, Dampf verloren gehen müßte; und daher hätte er beinahe geschlossen, daß die Dampfmaschine keiner weitern Verbesserung fähig sey, als ihm der glückliche Gedanke einfiel, den Dampf in einem besonderen Gefäße zu verdichten, statt in dem Cylinder der Maschine. Dieß Mittel ward sogleich auf folgende sehr einfache Art versucht: ein kugeligtes kupfernes Gefäß ward mittelst einer Röhre, die einen Schlußhahn hatte, mit einem hohlen zinnernen Cylinder von 30 Zoll Länge und 4 Zoll Durchmesser in Verbindung gesetzt. Die Kugel wurde durch Verbindung mit einem kleinen Kessel mit Dampf gefüllt, während der zinnerne Cylinder in kaltes Wasser getaucht wurde, und bei'm Oeffnen des Hahns, um eine Communication zwischen beiden Gefäßen zu machen, wurden die Wandungen des zinnernen Cylinders sogleich zusammengedrückt, weil sie nicht stark genug waren, der äußern Kraft des atmosphärischen Drucks zu widerstehen, so vollkommen war das Vacuum, das sich darin gebildet hatte. Dieser Versuch übertraf seine lebhaftesten Erwartungen, und hierauf gründete er alle die wichtigen Verbesserungen, die er hernach bei dieser Ma-

schine zu machen im Stande war. Es ward sogleich ein neues Modell verfertigt, worin die Theile, wie in Fig. 119, eingerichtet waren, nämlich c c ist der Durchschnitt des Cylinders einer Dampfmaschine, wie sie damals gebraucht wurde, wobei d der darin bewegliche Kolben, e ein Theil der Kolbenstange, f ein Theil der Dampfröhre, die mit dem Dampfkessel communicirt, g eine Röhre ist, die aus dem Boden des Cylinders führt, und sich an ihrem untern Ende in eine hohle kupferne Kugel h endigt, die nebst einem Theile der Röhre g unter kaltem Wasser in einer Cisterne k k steht, und i ist ein Hahn, um die Communication zwischen dem Cylinder c c und der Kugel h abzuschneiden. Während der Cylinder seinen Dampf erhielt, war der Hahn i geschlossen, und sobald der Stämpel d gehoben wurde, und der Dampf durch das Schließen der Röhre f abgeschnitten war, ward der Hahn i geöffnet, und ein Theil des in die Kugel h tretenden Dampfs verdichtet, so daß er ein partielles Vacuum machte, wodurch der übrige Dampf in die Kugel trat, und der sämmtliche Dampf wurde mit erstaunlicher Schnelligkeit verdichtet, und das vollkommenste Vacuum hervorgebracht, ohne daß irgend die Temperatur des Cylinders c dadurch vermindert wurde. Dieß war alles, was man verlangen konnte, denn nun ging der Stämpel zum Boden des Cylinders hinunter, statt etwa bei einem Achtel davon stillzustehen, wie er sonst gethan hatte, und zwar ohne allen Verlust an Wärme. So annehmlich indeß diese Einrichtung auch scheinen mag, so war sie noch mit vielen practischen Schwierigkeiten in der Ausführung verbunden, denn alle der Dampf, der in der Kugel h verdichtet wurde, welcher man den Namen Condensator gab, wurde in derselben in Wasser verwandelt, und mußte sie folglich bald anfüllen, so daß sie ihre Dienste nicht mehr leisten konnte; außerdem

wurde das Wasser in der Cisterne des Condensators warm, und zur Verdichtung untauglich. Watt fand es also bald für nöthig, nicht nur jede Anhäufung aus der Verdichtungsblase zu ziehen, sondern auch das Wasser, worin sie stand, zu erneuern, so daß es so kalt, wie möglich, gehalten wurde. Er fand auch, daß, wenn der Inhalt von Zeit zu Zeit aus dem Condensator geleert wurde, die Luft darin zu gleicher Zeit verdünnt wurde, und so daß der Dampf leichter eintreten konnte, was erwünscht war; und sonach gab er mehrere Mittel an, den Verdichter auszuleeren, deren eins war, eine offene Röhre von dem Boden desselben über 35 Fuß weit hinabzuführen, und ihr unteres Ende in einen Brunnen oder Wasserbehälter zu stellen, indem er so den Verdichter in ein Wasserbarometer verwandelte, wodurch sein Inhalt ausgeleert werden könnte, da wir bereits gesehen haben, daß der atmosphärische Druck nie eine Säule von dieser Höhe halten kann. Allein wegen der Unbequemlichkeit, eine so hohe Säule zu befestigen, zog Watt den Gebrauch einer Luft- oder Ausleerungspumpe vor, die er am Untertheil seines Verdichters anbrachte, und da diese Pumpe durch die Bewegung des Maschinenbalkens bethätigt werden konnte, so besaß sie in sich selbst die Kraft, ihren eigenen Condensator von allem Wasser, Dampf, Luft, oder jeder sich darin anhäufenden Flüssigkeit auszuleeren.

Watt's einzige Besorgniß bei'm Gebrauch der Pumpe war, daß sie die Maschine mit so viel vermehrter Friction belasten möchte, die verderblich für ihre Thätigkeit seyn könnte; allein er wurde bald überzeugt, daß seine Vermuthungen falsch waren, denn er fand, daß die Verdichtbarkeit des Dampfs bei gehöriger Behandlung viel größer war, als er selbst vermuthet hatte, und daß, statt seinen Verdichter so stark wie den wirkenden Cylinder zu ma-

chen, ein kleines Gefäß, oder selbst eine Röhre im Stande war, den Dampf eines großen Cylinders zu verdichten. Folglich braucht die Condensatorpumpe, oder die Luftpumpe der Dampfmaschine, wie sie allgemein genannt wird, nicht groß zu seyn, und entzieht also der Maschine nur wenig Kraft.

Die Dampfmaschine, wie sie zuerst von Watt vorgeschlagen wurde, bestand also aus dem Kessel und Dampfcylinder in fast derselben Form, wie Newcomen und Beighton sie gebrauchten, außer daß der Cylinder mit Holz bekleidet war, um ihn heiß zu halten, und statt der Schnaubeklappe und Ausführungsröhre zum Entweichen der Luft und des verdichteten Wassers, und der Einspritzungsröhre, um kaltes Wasser in den Cylinder zu bringen, gebrauchte er eine Luftpumpe, die auf den Verdichter wirkte, der mittelst einer Röhre mit dem untern Theile des Cylinders verbunden, und in eine Cisterne mit kaltem Wasser gesetzt war, die beständig mittelst einer gewöhnlichen Pumpe neu angefüllt wurde, welche aus dem nächsten Brunnen oder Quell Wasser zog, und es in die Cisterne lieferte, worin der Verdichter stand, indeß das übrige Wasser entwich, und durch eine Rinne im Obertheil der Cisterne abfloß, da das erwärmte Wasser, als viel leichter wie das kalte, natürlicherweise nach oben stieg. Das Wasser, was durch die Luftpumpe aus dem Verdichter gezogen wurde, ward gleichfalls durch einen Abzug weggeführt, weil es als warm unbrauchbar zur neuen Verdichtung war, aber ein Theil davon ward in den Kessel durch ein kleines Druckwerk zurückgetrieben, um den durch die Verdampfung erlittenen Verlust zu ersetzen. Alle diese verschiedenen Pumpen wurden durch den Maschinenbalken bethätigt, und statt der Hähne, die zuvor angewandt wurden, wurden neue und vollkommnere Klappen genommen, um Dampf einzulassen, und den Verdichter in gehörigen Zwischenzeiten abzuschlie-

ßen, welche sämmtlich durch die Bewegung des Balkens mittelst des Zapfenbaums und des Apparats des Herrn Beighton geöffnet wurden.

Die allgemeine Einrichtung von Watt's Maschine zu der Zeit, wie sie oben beschrieben ist, ist in Fig. 120, Taf. XII. abgebildet, aber auf die Disposition und Befestigungsart der Theile ist dabei nicht geachtet, 1) weil in der wirklichen Maschine ein Theil hinter den andern kommen kann, und also unsichtbar seyn würde, und 2) die Anordnung wurde wesentlich verändert, da die Maschine noch mehr verbessert wurde. Doch immer wurden alle die Theile, die die Abbildung enthält, mit einfachen Veränderungen beibehalten, und der Nutzen derselben ist also, den Leser nicht nur mit den Benennungen dieser Theile, sondern mit ihren Verrichtungen bekannt zu machen, so daß nachher bei der Beschreibung der jetzigen Form der Maschine es bloß nöthig ist, sie zu nennen, ohne sie weiter zu beschreiben; und in dieser Abbildung sind statt der gehörigen Klappen die Hähne in den Röhren der Einfachheit wegen beibehalten. A ist die Dampfröhre, die vom Kessel, worin Dampf erzeugt wird, zum Untertheil des Dampfcylinders B geht, und a ist der Hahn, um den Dampf hinzuzulassen oder abzuschließen, und heißt deßhalb der Dampfhahn oder die Dampfklappe. C ist der Stämpel (oder Kolben), der sich luftdicht in dem Dampfcylinder auf und nieder bewegt; D die Stämpelstange, deren oberes Ende mit dem einen Ende des Maschinenbalkens verbunden ist (wie in x y z, Fig. 116.), E ist ein Hahn und eine Röhre, die in eine hochliegende Cisterne führen, wodurch ein wenig Wasser oben auf den Stämpel gegossen werden kann, um ihn luftdicht zu halten. F F ist der Durchschnitt des hölzernen Futters oder Mantels, der den

Dampfcylinder auswendig bekleidet, um die Wärme zurückzuhalten. Er besteht aus einzelnen Dauben, und ist durch eiserne Bänder wie ein Faß zusammengehalten. C ist die Ausführungsröhre, die aus dem Boden des Dampfcylinders zu dem obern Theile des Verdichters oder Condensators H geht, der ein hohles Metallgefäß von irgend einer bequemen Form, und unter dem Dampfcylinder in einen großen Wasserbehälter I I gesetzt ist, der die Kalt-Wasser-Cisterne heißt; b ist ein Hahn, die Ausführungsklappe genannt, um die Verbindung zwischen dem Dampfcylinder und dem Condensator zu öffnen und zu schließen. K ist die Luftpumpe, die auch in der Kalt-Wasser-Cisterne steht, aber ohne alle innere Communication mit dem darin befindlichen Wasser ist. Diese Pumpe ist eine gewöhnliche Hebepumpe, außer daß die Klappen von Metall sind, wegen der Hitze des Wassers: ihre untere Klappe c heißt die Bodenklappe. L ist ihre Stämpelstange, deren oberes Ende mit dem Maschinenbalken verbunden ist, und durch ihn in Thätigkeit gesetzt wird. M ist ihre Saugröhre, die mit dem Boden des Verdichters H communicirt, um alle Luft und alles Wasser, die er enthält, abzuziehen, und dieß Wasser, was in einem heißen Zustande ist, wird in die kleinere Cisterne N gebracht, die deßhalb die Heiß-Wasser-Cisterne genannt wird. O ist eine gewöhnliche Pumpe, die die Kalt-Wasser-Pumpe heißt, weil sie die Cisterne I I mit kaltem Wasser versorgt, und die eben so wie die Luftpumpe durch den Maschinenbalken bethätigt wird. Das übrige kalte Wasser läuft in einen Abzug durch die Mündung P ab, und das heiße Wasser durch eine andere dergl. in Q. Die übrigen Gegenstände dieser Zeichnung gehören zu jüngeren Verbesserungen dieser Maschine, und werden deßhalb weiter unten erörtert werden.

Nach dem, was über die Dampfmaschine gesagt ist, bedarf es nur einer geringen Erklärung der Wirkungsart derselben; denn wenn der Stämpel C am Boden des Cylinders ist, und die Dampfklappe a geöffnet wird, so dringt der Dampf in B, und läßt den Stämpel in Folge der Gegengewichte am entgegengesetzten Ende des Maschinenbalkens steigen, bis er hoch genug ist, und zu gleicher Zeit steigt der Kolben der Luftpumpe, und bewirkt eine partielle Verdünnung in dem Verdichter. Sobald der Stämpel gehörig hoch gehoben ist, muß der Hahn a verschlossen, und b geöffnet werden, da denn der Dampf in den Cylinder strömt und verdichtet wird, wodurch solch ein Vacuum entsteht, daß der Dampfkolben hinabgeht; worauf b verschlossen und a geöffnet werden muß, um ein abermaliges Steigen des Stämpels C zu bewirken, während dem die Luftpumpe K alles verdichtete und in H angesammelte Wasser abzieht, und in N ausleert, wodurch sie den Verdichter in den Stand setzt, ein zweites Vacuum zu bilden, was mit der Kalt-Wasser-Pumpe O bewerkstelligt wird, die die Cisterne I I beständig mit frischem Wasser anfüllt. Um die Condensationskraft zu vermehren, fand es Watt nöthig, einen Hahn anzubringen, wie in g, um einen kleinen Wasserstrom aus der Cisterne in das Innere des Verdichters in solcher Richtung laufen zu lassen, daß er dem Dampf entgegenkäme, wodurch die Verdichtung nicht nur beschleunigt, sondern vollkommener würde: dieser heißt der Injectionshahn.

Bei diesem Zustande der Maschine fand Watt, daß sie wenig mehr als die Hälfte Feuerung bedurfte, die alle bis dahin gemachten Einrichtungen derselben nöthig machten. Dennoch aber war er noch nicht mit dem Grade der Vollkommenheit seiner Maschine zufrieden; denn der Dampfcylinder war oben offen, und bedurfte Wasser, was oben auf

dem Stämpel liegen mußte, um ihn luftdicht zu erhalten, folglich war, sobald der Stämpel niederging, die innere Fläche des Cylinders nicht nur der freien Luft ausgesetzt, sondern mit einer dünnen Lage von kaltem Wasser überzogen, die bei der vorhin erlangten Hitze des Cylinders sogleich in Dampf verwandelt wurde, der ihn im großen Maaße abkühlte, so daß noch ein wesentlicher Verlust von Wärme stattfand, den keine der vorhin genannten Verbesserungen beseitigen konnten. Watt beschloß daher, die Wirkung eines oben verschlossenen Cylinders zu versuchen, oder eines solchen, der die äußere Luft wirksam ausschlösse, indem er machte, daß die Stämpelstange desselben durch eine Schlußbüchse glitt, und statt den Stämpel vom Druck der Atmosphäre niederdrücken zu lassen, Dampf dazu anwandte, um auch zugleich das Vacuum hervorzubringen. Auf dieß Mittel glaubte er sich verlassen zu können, weil der Luftdruck niemals $15\frac{3}{4}$ Pfd. auf den Quadratzoll übersteigen konnte, und er wußte, daß die elastische Kraft des Dampfes in Savery's Maschine zu einem weit größern Grade benutzt war, und keine Gefahr hervorbringen könnte, so lange sie in den mäßigen Gränzen, deren er bedurfte, gehalten würde; denn da der Dampf in seiner neuen Maschine gegen ein Vacuum unterhalb dem Stämpel, statt gegen den Widerstand der freien Luft, zu wirken hatte, so mußte er bei 212° Wärme dem Drucke der Atmosphäre völlig gleichkommen, und bei nur wenig stärkerer Erhitzung ihn selbst noch übertreffen. Sein einziger Zweifel war also, ob dieser vermehrte Dampfverbrauch nicht eine größere Consumtion an Feuerung machen dürfte, als der Verlust, der durch das Abkühlen des Cylinders statthätte, aber der in dieser Hinsicht angestellte Versuch erledigte diesen Punct, und bewies höchst klar den Werth seines Gedankens, und bei seinen folgenden Maschi-

nen trieb er die Verbesseruug viel weiter, sowohl in den einfach als doppelt wirkenden Maschinen, wie sie nachher genannt wurden, so daß nicht mehr Dampf für diese neue Operationsweise erforderlich war, als vorhin bloß die Hervorbringung des Vacuums nöthig machte. Die Maschine ward nun zum ersten Male in eine wirkliche Dampfmaschine verwandelt, statt einer atmosphärischen Druckmaschine, denn der atmosphärische Druck ward jetzt völlig ausgeschlossen, und sie wirkte einzig durch die Kraft des Dampfs: in Folge dessen der Cylinder immer so heiß gehalten werden konnte als der Dampf, der hineintreten sollte, und der sämmtliche ungeheure Verlust an Feuerung, der bis dahin mit dem Gebrauch dieser schätzbaren Maschine verbunden gewesen war, ward völlig beseitigt, weil ihre Wirkung regelmäßig und anhaltend gemacht war.

Die einfach wirkende Maschine, die der vorangehenden atmosphärischen Druckmaschine am nächsten kam, soll deßhalb zuerst beschrieben werden, und dabei ist es bloß nöthig, uns auf die Construction und die Form des Dampfcylinders zu beschränken, weil Kessel, Verdichter, Cisterne, Luftpumpe, Maschinenbalken und Gegengewichte dieselben sind, wie sie bereits angegeben sind, und die Eigenthümlichkeiten der Klappen und ihrer Bethätigungsmittel weiterhin beschrieben werden. Ein solcher Cylinder ist durch R S Fig. 121. dargestellt, dessen verschlossener Obertheil T ist, auf welchem eine Schlußbüchse für die Stange V des Stämpels U gemacht ist, wodurch sie luftdicht geht, weßhalb sie gut abgedreht, glatt und vollkommen cylindrisch seyn muß. Das Oberende der Stämpelstange V ist mit dem Maschinenbalken auf vorbeschriebene Art verbunden, und vermittelst der Gegengewichte am entgegengesetzten Ende bewegt sich der Stämpel bis zum Obertheil des Cylinders, wenn seine Communicationsröh-

ren alle offen sind. W ist die Röhre, die den Dampf aus dem Kessel bringt, und in das Obertheil R des Cylinders ausleert, oder ihn durch eine Fortsetzung derselben Röhre in X nach dem Untertheil des Cylinders S führt, und Y ist die Ausleerungsröhre, oder die Röhre, die zu dem Verdichter hinuntergeht: d e f sind Klappen, die sich alle durch äußerliche Communicationen nach oben öffnen, und vermittelst deren gewisse Theile der Dampfröhre W X, oder die Ausleerungsröhre Y nach Gefallen verschlossen werden können. Die Klappen d und e sind gleichfalls durch äußere Maschinerie so verbunden, daß sie sich beide zu gleicher Zeit auf und nieder bewegen, mithin wenn d nieder ist, aller Dampf von dem Cylinder abgeschnitten ist, sowohl von oben als von unten, und die Ausleerungsröhre sich zu gleicher Zeit schließt; allein die Klappe f bewegt sich unabhängig von beiden. Wenn wir nun annehmen, daß der Stämpel U oben im Cylinder und die Klappe d offen ist, während f zu ist, so strömt der Dampf ein, und füllt die ganze Dampfröhre X bis nach f hinunter, und tritt zu gleicher Zeit in den Obertheil des Cylinders R, und beginnt den Stämpel U nieder zu drücken; und alle in dem untern Theil des Cylinders S enthaltene Luft entweicht durch e, und geht in den Verdichter, um durch die Luftpumpe ausgeleert zu werden. Hat der Stämpel den Boden des Cylinders erreicht, so muß die Klappe d verschlossen werden, um den Eintritt alles weitern Dampfs in den Cylinder zu verhüten, und das Verschließen von d verschließt auch e, wie vorhin bemerkt ist. In dem Augenblicke, da d und e verschlossen sind, muß f geöffnet werden, wo dann eine freie Communication zwischen dem Ober- und dem Untertheil des Cylinders durch die Röhre X ist, und also wird durch die bloße Wirkung des Gegengewichts des Maschinenbalkens der Kolben U nach seinem Obertheil

gezogen, und der sämmtliche Dampf, der den Raum R füllte, durch die Röhre X und die offene Klappe f zum Untertheile S des Cylinders getrieben, wodurch ein Gleichgewicht sowohl über als unter dem Stämpel entsteht, vermöge dessen er in die Höhe steigen kann, wiewohl jeder Theil des Cylinders noch immer ganz voll Dampf ist. Sobald der Stämpel U die Höhe seines Zuges erreicht hat, muß die Klappe f verschlossen, und die in d und e geöffnet werden. Durch die Klappe e ist eine unmittelbare Verbindung mit dem Verdichter hergestellt, mithin wird alle der Dampf, der bereits in dem Theile S des Cylinders ist, sogleich verdichtet, und ein leerer Raum unter dem Stämpel gebildet, während in demselben Augenblick eine neue Ladung von Dampf in den obern Theil des Cylinders tritt, und den Stämpel nach unten drückt, was um so leichter geschieht, weil der Verdichter zuvor ein Vacuum in dem Untertheile S des Cylinders hervorgebracht hat, und wenn der Dampfverdichtungsmesser des Kessels (Siehe Fig. III.) nur vier Zoll hoch steht, was eine sehr gewöhnliche Höhe bei der Wirkung dieser Maschinenart ist, so wirkt der Dampf etwa 4 ℔ stärker auf den Stämpel, als der atmosphärische Druck bei einem offenen Cylinder konnte, und bringt mithin eine größere Wirksamkeit hervor. Der Stämpel wird durch die Kraft der Gegengewichte sogleich wieder hinaufgetrieben, sobald die Klappen d und e geschlossen sind, und f geöffnet ist, und durch Unterhaltung eines beständigen Dampfvorraths im Kessel, und die Wirksamkeit der Klappen in obbeschriebener Reihefolge kann man die Maschine, so lange es erforderlich ist, im Gange erhalten.

Ungeachtet der Dampf bei dieser Maschine eine doppelte Verrichtung hat, nämlich das Vacuum zu bilden, und den Stämpel niederzudrücken, so wird doch vermöge

ihrer trefflichen Einrichtung nicht mehr Dampf aus dem Kessel gebracht, als bei der alten atmosphärischen Maschine nöthig war; denn die ganze Zeit, daß sich der Stämpel aufwärts bewegt, ist der Kessel verschlossen, und es geht kein Dampf heraus; und die Menge, die zum Niederzuge nöthig ist, ist nicht größer, als die sonst zur Bildung des leeren Raums, sowie zum Erheben des Stämpels nöthig war, indeß die Ersparung, die durch die Erhaltung des Cylinders in einer gleichförmigen Temperatur und die dadurch bewirkte Verhütung des frühern Verlusts entspringt, ihr einen entschiedenen Vorzug giebt. Die großen Maschinerien, die in den letzten wenigen Jahren in der Nachbarschaft von London, am New River, zu Chelsea, York Buildings, West Middlesex und in den Grand Junction-Wasserkünsten gebaut wurden, sind es sämmtlich nach diesem Muster, und die meisten derselben besitzen zwei Maschinen. deren Cylinder 54 Zoll Durchmesser haben, wobei die Länge des Zuges, den die Stämpel machen, 8 Fuß beträgt.

Alle bisher beschriebenen Maschinen haben ihre Kraft nur in einer Richtung, d. h. entweder im Aufsteigen oder Hinabsteigen des Stämpels, aber nicht in beiden, und daher heißen sie einfache Maschinen, und ob sie gleich in dieser Hinsicht vortrefflich berechnet sind, einfache Pumpen zu treiben, oder sonst Wasser zu heben, so sind sie doch unanwendbar, um Mühlen oder Maschinerie zu bewegen, besonders wenn diese Bewegung gleich und regelmäßig seyn muß. Die doppelt wirkende Maschine ersetzt indeß diesen Mangel, denn bei ihr wirkt der Dampf bald auf die obere bald auf die untere Seite des Stämpels, und macht so seinen Auf- und Niederzug gleich wirksam. Wirklich hört in dieser Maschine die Kraft des Dampfs nie auf, außer in dem Augenblicke, da der Stämpel den

obersten Theil oder Boden des Cylinders erreicht, und um diesen augenblicklichen Kraftmangel zu ersetzen und die Trägheit des Stämpels in der Zeit seiner Richtungsveränderung bezwingen zu helfen, wird immer ein Schwungrad auf die in Fig. 118 gezeigte Art bei dieser Maschine angewandt.

Die doppeltwirkende Maschine erfordert die doppelte Menge von Dampf, die zu einer einfachen Maschine von derselben Größe nöthig seyn würde; aber dieß wird dadurch ausgeglichen, daß sie die doppelte Wirkung thut; und nach dem, was über die einfache Maschine gesagt ist, bedarf es nur weniger Zusätze, um die doppelte zu erklären; denn da beider Grundlagen einerlei sind, so ist eine bloße Veränderung des Mechanismus alles, was zur Darstellung der Maschine erforderlich ist. Es sind keine Compensationsgewichte zur Hebung dem Dampfkolbens nöthig, und in den Klappen und Dampfröhren muß solch eine Veränderung getroffen werden, daß durch den Verdichter ein Vacuum bald über bald unter dem Stämpel hervorgebracht wird, statt unter ihm allein, wie in den obbeschriebenen Maschinen; der Dampf muß gleichfalls abwechselnd über und unter den Stämpel gelassen werden, in demselben Augenblicke, da das Vacuum gebildet wird, aber immer an der Seite des Stämpels, die dem Vacuum entgegengesetzt ist.

Um die Thätigkeit der doppelten Maschine gehörig zu begreifen, müssen zunächst einige von den Vorrichtungen, die getroffen sind, um eine gehörige Vertheilung des Dampfs hervorzubringen, angezeigt werden, und wiewohl der Hahn mit vier Oeffnungen, und der gleitende Regulator nicht als die vollkommensten derselben angesehen werden können, so werden sie doch sehr häufig bei kleinen Dampfmaschinen angewandt, und ihre Einfachheit giebt

ihnen einen Vorzug. In Fig. 122 soll Y Z den Durchschnitt eines Dampfcylinders wie oben vorstellen, nebst seinem Stämpel und der Kolbenstange, die sich durch eine Schlußbüchse ganz luftdicht bewegt; g ist die Dampfröhre, durch welche Dampf aus einem Kessel herbeigeführt wird, sie endigt sich in einen Hahn mit vier Oeffnungen h i, der, so wie die Röhren m n und m o, viel zu groß für den Cylinder Y Z gezeichnet ist, damit man ihre Theile deutlich sehen könne; p ist das Ende eines Hebels oder Handgriffs, um den Hahn. wenn es nöthig ist, zu drehen. Dieser Hahn ist genau eben so, wie andere Hähne zum Abzapfen von Flüssigkeiten, eingerichtet, und besteht aus einem konischen Zapfen, der sehr genau in das Futter paßt, aber statt ein einzelnes gerades Loch queer durch zu haben, wie es gewöhnlich der Fall ist, gehen zwei krumme Gänge h und i hindurch. weßhalb er vier Oeffnungen hat, deren jede in derselben Höhe und ein Viertel des Umfangs von der nächsten sich befindet, so daß, wie der Hahn in der Figur steht, der Dampf, der aus g kömmt, durch die Oeffnung i in den Zapfen tritt, und in die Röhre n im rechten Winkel mit seiner ersten Richtung geliefert wird, statt geradezu nach o zu gehen, wie es bei einem gewöhnlichen Hahne der Fall seyn würde. Aus der Röhre n geht der Dampf unmittelbar in den untern Theil Z des Cylinders, und treibt mithin den Stämpel aufwärts. Zu gleicher Zeit sieht man, daß eine unmittelbare Verbindung zwischen dem obern Theile Y des Cylinders durch die Röhre m und die Oeffnung h des Hahns nach der Röhre o o, die zu dem Verdichter hinabgeht, vorhanden ist; mithin ist so lange, als der Dampf gegen die untere Seite des Stämpels wirkt, in Y ein Vacuum, um den Stämpel steigen zu lassen. Sobald der Stämpel oben am Ende des Cylinders angelangt ist, muß der Hahn zum vierten

Theil umgedreht werden, dadurch, daß man den Griff p aus seiner jetzigen Stelle in diejenige, die durch die punctirten Linien in q angedeutet ist, hinunterdrückt, wodurch alle Oeffnungen in dem Zapfen des Hahns ihre Lage in diejenige verändern, wie sie in Fig. 123 angedeutet ist, in welcher dieselben Nachweisebuchstaben gebraucht sind: der Dampf nun, der jetzt in g tritt, wird durch den Gang h nach oben gehen, und durch den Eintritt in die Röhre m wird er über statt unter den Stämpel gebracht, während der Gang i eine Verbindung zwischen der Röhre n, die zum Untertheil des Cylinders führt, und der Röhre o, die zum Condensator führt, bildet, mithin wird bei dieser Stellung ein Vacuum unterhalb dem Stämpel gebildet, indeß der Dampf über ihm wirkt. Der Stämpel wird demnach hinuntergehen, und sobald er zu Boden kömmt, muß der Hahn wieder in die erste Stelle gedreht werden, da denn der Stämpel in die Höhe steigt und so fort: so wird eine Gleichmäßigkeit der Kraft sowohl im Auf- als Niederzuge durch bloßes Drehen eines Hahns hervorgebracht, eine Operation, die durch die Bewegung des Balkens ohne alle andere Hülfe bewerkstelligt wird.

Ein großer Einwurf gegen den Gebrauch eines solchen Hahns, wie er so eben beschrieben ist, und den Papin zuerst gebraucht, wo nicht erfunden hat, ist die Größe des Zapfens, die bei großen Maschinen nöthig wird, und die soviel Friction verursacht, daß sie mehr Kraft zum Drehen fodert, als darauf verwendet werden kann. Die Erfahrung hat gezeigt, daß bei Verdichtungsmaschinen etwa ein Quadratzoll im Lichten für den Dampfdurchgang auf jede Pferdekraft nöthig ist, um die Maschine zu bethätigen, folglich schon bei einer Sechszehn-Pferde-Maschine die Oeffnungen h und i im Zapfen des Hahns 4 Zoll quadrat halten, oder 8 Zoll lang und 2 Zoll weit seyn

müssen, was nicht möglich zu machen ist, außer wenn der Zapfen über 6 Zoll Durchmesser hat; und bei einem Zapfen, der genau diese Stärke hat, wenn er hinlänglich schließt und dampfdicht ist, muß die auf den Handgriff p anzuwendende Kraft sehr groß seyn, besonders bei'm ersten Gebrauch der Maschine. Hr. Murray von Leeds erfand daher einen gleitenden Regulator, um denselben Zweck zu erfüllen, der jetzt bei kleinen Maschinen sehr gewöhnlich angewandt wird; allein bei großen Maschinen paßt und wirkt nichts besser, als die gewöhnliche konische Klappe, wie sie in d e und f in Fig. 121 abgebildet ist. Diese Klappen kann man von jedem erforderlichen Durchmesser machen, und da sie sich bloß senkrecht aus ihrer Stelle heben lassen, so sind sie sehr einfach und leicht zu besorgen. Es ist in der That nichts Ungewöhnliches, zwei von diesen Klappen durcheinander concentrisch wirkend zu machen, indem die eine unten, während die andere oben ist, wie in f und e, Fig. 121 gezeigt wird, worin der untere Theil der Stange, die die obere und untere Klappe d und e verbindet, genau abgedreht ist, und durch die Spindel der Klappe f geht, die in der That eine luftdichte Schlußbüchse für sie ist, indeß die Außenseite der Spindel von f in gleicher Weise genau gedrechselt ist, und durch eine andere luftdichte Schlußbüchse geht, sowie die Spindel der obern Klappe d. Der gleitende Regulator ist in seinen zwei Lagen in Fig. 124 und 125 abgebildet, wovon die erste eine perspectivische Ansicht desselben ist, außer daß die Fronte weggenommen ist, um die innere Einrichtung zu zeigen, und die andere ist ein Verticaldurchschnitt durch die Mitte des Apparats, der in derselben Lage in Hinsicht des Dampfcylinders steht, wie der Hahn in Fig. 122, und dieselben Communicationsröhren mit dem Ober- und Untertheil desselben und mit dem Verdichter

hat. In Fig. 124 und 125 ist r das Ende der Röhre, die den Dampf aus dem Kessel in den kleinen hohlen Behälter s bringt, so daß derselbe immer voll ist. Eine Seite dieses Behälters t t macht einen Theil der Communicationsröhren mit dem Cylinder aus, die gewöhnlich im Queerdurchschnitt länglich sind, und sich alle von dieser Seite in den Behälter öffnen, wie man in v, Fig. 124, und v u und w in Fig. 125 sieht. Die Röhre v führt zum Untertheil des Cylinders, w zum Obertheil, und u zum Verdichter; die Fläche oder Wandung, durch welche diese Oeffnungen eintreten, ist sehr glatt und genau geschliffen. Der gleitende Regulator für die Einlassung des Dampfs in den Cylinder ist in x x gezeigt, und ist wie eine Büchse ohne Deckel gebildet, und so tief, daß er den Behälter s s ungefähr halb füllt, wobei seine Länge gerade zureicht, die Mündungen von zwei Röhren zugleich zu bedecken, wie in v u, Fig. 125. Die Kanten nächst dem offenen Theile der Büchse oder des Schiebers sind auch so glatt und schließend geschliffen, daß sie auf der geschliffenen Fläche t t dampf- und luftdicht gleiten können: und um diese gleitende Bewegung hervorzubringen, geht eine gedrechselte Stange y y durch eine Schlußbüchse, und ist mit dem Gleiter innerhalb des Behälters verbunden. Da nun die Größe des Gleiters bloß ausreicht, zwei Oeffnungen zu bedecken, und die Oeffnung u gerade in der Mitte ist, so bleibt diese Oeffnung immer bedeckt, und einer oder der andere von den Dampfgängen v oder w muß immer offen seyn, sobald der Gleiter oben oder am Boden des Behälters ist, aber sie können nicht beide zugleich offen seyn, weil in der Zeit, da der obere Theil des Gleiters x Fig. 125 genug gestiegen ist, um die obere Oeffnung w zu schließen, auch sein unterer Theil vor der unteren Oeffnung v vorbeigegangen ist, und da an-

genommenermaßen immer Dampf von r hineintritt, so ist es klar, daß er nach Befinden über oder unter den Stämpel geleitet wird. So ist in Fig. 124 der Gleiter x x oben in dem Behälter, und die untere Oeffnung v für den Durchgang des Dampfs zu dem untern Theile des Cylinders offen, indeß sich eine Communication zwischen dem obern Theile des Cylinders und dem Verdichter durch die Höhlung des Gleiters bildet. Und in Fig. 125 ist der Fall umgekehrt, denn hier sieht man den Gleiter in seiner niedrigsten Stelle, so daß der Dampf aus r durch s und w geht, und von da zu dem obern Theile des Cylinders, indeß die Oeffnung v, die aus dem untern Theile des Cylinders führt, durch die Höhlung des Gleiters mit u, als der Mündung der Röhre, die zu dem Verdichter führt, verbunden ist, wodurch ein Vacuum gebildet wird. Auf diese Weise ist eine kleine wechselwirkende Bewegung, die der Stange y durch Verbindung mit dem Balken oder einem Theil des Maschinengetriebes gegeben wird, hinlänglich, um alle die nöthigen Veränderungen in der Richtung des Dampfs zu machen, so daß die Maschine im Gange erhalten wird.

Aus der Natur der Doppelmaschine, und ihrer fortgesetzten Kraft, sowohl bei der auf- als niedersteigenden Bewegung des Stämpels, ist einzusehen, daß die Kettenverbindung mit dem Maschinenbalken, die vorhin angewandt wurde, und zu Fig. 116 beschrieben ist, nicht länger zu Hülfe genommen werden konnte; denn diese konnte nur so lange wirksam seyn, als die Maschine bloß die hebende Kraft ausübte. Das Oberende der Stämpelstange ward daher in einen Kamm mit Zähnen verwandelt, die in ähnliche Zähne griffen, die auf dem runden Ende oder Pferdekopf des Maschinenbalkens gemacht waren; allein des großen Getöses und der Reibung wegen, die mit die-

ser Einrichtung verbunden waren, ward sie bald abgeschafft, und dafür die jetzt unter dem Namen des beweglichen Parallelograms (Storchschnabels) allgemein angenommene zweckmäßigere Vorrichtung, die alle Mängel der frühern Einrichtung beseitigte, in Anwendung gebracht. Dieser Apparat kam zuerst in den Maschinen, die 1784 bei Blackfriars-Bridge für die ehemaligen Albion'schen Getraidemühlen gebaut wurden, zum Vorschein.

Die Schwierigkeit, die Stämpelstange unmittelbar mit dem Ende des Balkens zu verbinden, entsteht daraus, daß die Stange darauf beschränkt ist, sich in gerader Linie durch ihre Schlußbüchse zu bewegen, dagegen das Balkenende einen Theil eines Cirkels beschreibt, und also mit der Bewegung der Stämpelstange nicht übereinkömmt. Wenn also a Fig. 126. der Mittelpunct ist, worauf sich ein Balken dreht, und a b, a c als die äußersten Linien des Endes oder der Hälfte dieses Balkens angenommen werden, so beschreibt sein Ende den Theil eines Cirkels b d c, indem es aus seiner höchsten in seine tiefste Lage geht, und umgekehrt, und wenn e f g h die gerade Linie ist, worin sich ein Stämpel bewegen muß, so erhellet, daß die Bewegung des Balkens und des Stämpels bloß in den zwei Puncten f und g zusammentrifft, denn in den Puncten c und h ist die Stämpelstange weiter von dem Mittelpunct a entfernt, als die Länge des Balkens a b oder a c, indeß in dem Mitteltheile des Zuges d die Länge oder der Radius des Balkens größer ist, als die Entfernung der Stämpelstange von a, und da jeder Balken in der Bewegung so viel von einer geraden Linie abweichen muß, als der Sinus versus des Bogens beträgt, durch den er sich bewegt, so wird es unmöglich, einen Stämpel, der eine geradlinigte Bewegung fordert, unmittelbar mit dem Ende dieses Balkens zu verbinden, es

sey denn, daß nach der frühern Weise Zähne angebracht werden.

Der Zweck des beweglichen Parallelograms ist, die Kreisbewegung des Balkens in die geradlinigte zu verwandeln, und dieß ist mittelst eines Zwischenstücks auf verschiedene Weise möglich. So z. B. wenn i k Fig. 127 einen Balken vorstellt, der sich auf einem Mittelpunct k mit einem gegebenen Radius dreht, und l m einen andern Balken von gleichem Radius, der sich auf dem Mittelpunct m dreht, so können die beiden sich bewegenden Enden i und l dieser Balken mit einem Mittelstück, wie zwischen i und l gezeigt ist, vereinigt werden, und die Stämpelstange n kann mit der Mitte dieses Zwischenstücks verbunden werden, und es wird sich nun in einer geradlinigten Richtung trotz der Cirkelbewegung der beiden Balken bewegen; denn da diese Balken einerlei Radius haben, aber Ende gegen Ende einander entgegengesetzt sind, so wird die Größe des Sinus versus, den der eine macht, immer dem des andern gleich seyn, aber in entgegengesetzten Richtungen, so daß sie sich einander ausgleichen. Sobald also das obere Ende l des Zwischenstücks gegen m gezogen wird, so wird sein unteres Ende in einem gleichen Grade gegen k gezogen, und so wird die Bewegung in dem Mittelpuncte, wo n befestigt ist, geradlinigt. Die Parallelbewegung, die mit Maschinenbalken verbunden ist, ist indeß gemeinlich in einer zusammengedrängtern Form, um Raum zu sparen, und erstreckt sich nicht weit über den Hauptbalken. Z. B. in Fig. 128 sey p q der halbe Balken, p der Mittelpunct, worauf er sich dreht, wobei die Stämpelstange mit seinem Ende q durch die Verbindung in r mit dem untern Ende des Zwischenstücks zwischen q und r zusammenhängt; um eine senkrechte geradlinigte Bewegung in dieser Stämpelstange hervorzubringen, ist ein anderes

Stück s angebracht, was an Länge dem ersten Zwischenstück gleicht, und so hängt, daß es sich auf Zapfen dreht, die am Balken zwischen dessen Mittelpunct und äußersten Ende befestigt sind, wie in t. An den untern Theil dieses zweiten Stücks ist der Hülfsstab v u befestigt, der sich auf einem festen Zapfen in u dreht, und dessen Länge der Distanz p t gleich ist; mithin bringt er eine senkrechte geradlinigte Bewegung im untern Ende v des zweiten Mittelstücks s hervor, und diese wird wieder dem Puncte r mitgetheilt, wo der Stämpel befestigt ist, mittelst der Zaumstange w, welche Zapfen hat, die sich in den untern Enden von v und r bewegen. Auf diese Weise werden zwei geradlinigte senkrechte Bewegungen in den Puncten v und r hervorgebracht, sobald sich der Balken bewegt, mithin wird, während der Dampfstämpel mit r verbunden ist, die Stämpelstange der Luftpumpe gemeinlich an v angebracht, da beide senkrecht sich bewegen müssen; und wiewohl der obige Apparat als einzeln beschrieben ist, so versteht sich, daß ähnliche Radiusstangen, Zäume und Heber auch an der andern Seite des Balkens angebracht sind. In einigen Fällen, als wenn Doppelmaschinen zum Pumpen oder zum Treiben vertikaler Sägemühlen angewandt werden, wird eine ähnliche Parallelbewegung an beiden Enden des Balkens angebracht. Die Weise, wie das Balkenende, was dem Dampfcylinder gegenüber ist, mittelst eines Kniees mit einem Schwungrade verbunden ist, um die Bewegung gleichmäßig zu machen, und die fehlende Kraft zu ersetzen, wenn der Stämpel oben oder unten an seinem Zuge ist, ist bereits hinlänglich beschrieben (bei Fig. 118); aber wenn das Rad sich mit größerer Geschwindigkeit als Einmal für jeden Auf- und Niederzug des Stämpels drehen soll, so muß dieß dadurch bewirkt werden, daß man das Knie auf die Welle eines Zahnrades anbringt, was in ein

anderes greift, das weniger Zähne hat, und auf dem Baume des Schwungrads befestigt ist, von dem die Kraft der Doppelmaschine gemeinlich der Maschinerie mitgetheilt wird, die sie bethätigen soll.

Dieß ist eine sehr allgemeine und unvollkommene Beschreibung der wichtigen Verbesserungen, die die Dampfmaschine unter Watt's Händen erhielt, Verbesserungen, welche den wahrhaft philosophischen und unermüdlichen Geist ihres Urhebers beurkunden, der trotz der vielen Hindernisse, wodurch er nicht im Stande war, seine ganze Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand zu richten, dieselben zwischen 1763, wo seine Aufmerksamkeit zuerst auf den Gegenstand gezogen wurde, und 1769, da er das erste Patent für diese Erfindungen erhielt, zu vollenden fähig war. Es ist indeß aus der schwankenden und unbestimmten Weise, worin die Specification dieses Patents verfaßt ist, wahrscheinlich, daß Watt eine hinlängliche Menge von Versuchen gemacht hatte, um des Werths seiner Erfindung, so wie der Richtigkeit seiner Folgerungen, versichert zu seyn, ohne überhaupt in der Ausführung seines Plans vollkommen mit sich einig zu seyn, und ohne vielleicht zu wissen, welches die beste Form für die Einrichtung einer Maschine nach seinen Grundsätzen seyn dürfte; denn sein Patent bezog sich bloß auf die Verminderung des Verbrauchs des Dampfs, und er beschreibt kein Instrument oder keine Maschinenform, wodurch dieselbe bewirkt würde, sondern sagt im Allgemeinen, daß der Cylinder oder das Dampfgefäß während der ganzen Zeit seiner Thätigkeit so heiß gehalten werden müsse, als der eintretende Dampf, entweder durch Ueberkleiden desselben mit Holz, oder durch Dampfumgebung, wie es jetzt im Durchschnitt geschieht, oder durch Anwendung von Hitze, und dadurch, daß weder Wasser noch etwas Kälteres, als der Dampf selbst, ihn

berühren kann; daß die Verdichtung des Dampfs in einem besondern Gefäße, was mit dem Dampfcylinder communicirt, vor sich gehen müsse, und daß der Verdichter so kalt wie möglich zu halten sey. Daß eine Pumpe an dem Condensator angebracht werden müsse, um alle Luft, oder jeden andern Stoff, der durch die Kälte nicht verdichtet werden kann, herauszuziehen. Daß in einigen Fällen er die elastische Kraft des Dampfs anzuwenden beabsichtigt, um statt des atmosphärischen Drucks auf den Stämpel zu wirken, und daß dieser Dampf nachher in die Luft ausgeleert oder in den Condensator zur Verdichtung gebracht werden kann; und in andern Fällen will er den Dampf auf die Schaufeln von Rädern einwirken lassen, um Bewegung auf eben die Weise, wie das Wasser hervorzubringen, außer daß diese Schaufeln wie Ventile beweglich seyn sollen, so daß sie den Dampf nur in Einer Richtung aufhalten. Ferner daß in andern Fällen er den Dampf nicht zu Wasser verdichten, sondern nur seine Temperatur ändern, und durch seine wechselsweise Zusammenziehung und Ausdehnung wirken lassen würde, und endlich daß, statt Wasser anzuwenden, um den Stämpel und andere Theile seiner Maschine luftdicht zu machen, er Oel, Wachs, harzige Dinge, Fett, Queckſilber und andere Metalle im flüssigen Zustande anwende.

Kaum hatte Watt die wahren Principe des Dampfs enthüllt, und die Weise angegeben, wie er mit dem größten Vortheil angewandt und behandelt werden müßte, als verschiedene andere Verbesserungen oder angebliche Verbesserungen zum Vorschein kamen. Allein gerade die allgemeinen Ausdrücke seiner Specification setzten ihn in den Stand, seine Widersacher mit allen ihren Ansprüchen zurückzutreiben. Man griff ihn selbst aus dem Grunde an, daß seine Specification keine solche deutliche Anweisungen

enthielte, wonach geschickte Arbeiter seine Maschinen bauen könnten, wenn sein Patent abliefe; und kein Patent hat vielleicht jemals strengere Prüfungen in Gerichtshöfen ausgestanden, als das seinige, aber glücklicherweise überstand es alle Angriffe. Als Watt seine Specification machte, hatte er mit ganz besonderen Schwierigkeiten zu kämpfen; denn er mußte eine Maschine beschreiben, die nie im Großen versucht war, und deren genaue practische Ausführung er wahrscheinlich damals selbst nicht wußte: denn erst nachdem er sein Patent erhalten hatte, verband er sich mit Dr. Roebuck, dem Stifter der ungeheuern Eisenwerke zu Carron in Schottland, und baute seine erste Dampfmaschine mit einem 18zölligen Cylinder, indem alle seine frühern Versuche bloß mit Modellen gemacht waren. Diese Maschine ward nach wiederholten Veränderungen endlich in einen vollkommenen Zustand gebracht. Um eben die Zeit erfand der verstorbene John Wilkinson, in den berühmten Eisenwerken zu Bersham, eine neue und genauere Maschine, um große Cylinder mit einer Vollkommenheit zu bohren, wie sie vorhin nicht hatte erreicht werden können, und dieß benutzte Watt mit großem Erfolg. Die Weitläuftigkeit von Dr. Roebuck's Geschäfte legte Watt unglücklicherweise Hindernisse in den Weg, und da jener bei der Verfertigung von Dampfmaschinen nicht länger mitwirken konnte, so verkaufte er seinen Patentantheil an Hrn. Math. Boulton zu Soho bei Birmingham, der gerade damals ein großes Manufacturgeschäft besaß und mit vieler Klugheit führte. Hieher zog nun Watt, und begann seine Arbeiten nach dem größten Maaßstabe, und hier endete er seine Tage im hohen Alter, nachdem er den guten Fortgang eines Etablissements gesehen, was er selbst so werkthätig befördert hatte, und das bald in allen civilisirten Theilen des Erdbodens einen Ruf we-

gen seiner Vollkommenheit erlangte. Es wird noch mit regem Eifer von seinem Sohne und dem Sohne seines verstorbenen Theilnehmers fortgesetzt.

Trotz den Anstrengungen, die die Hrn. Watt und Boulton machten, um die Dampfmaschine zur Vollkommenheit zu bringen, so kamen doch wegen der Schwierigkeit, die erforderlichen neuen Geräthe und Werkzeuge zu erhalten und zu machen, keine beträchtlichen Dampfmaschinen nach ihrer Verbesserung zum Vorschein, bis 1774, als fünf von den vierzehn Jahren ihres Patents verflossen waren; und sie fanden, daß nicht nur bei dem Vorurtheil, was immer gegen neue Erfindungen obwaltet, sondern bei den Schwierigkeiten, womit sie zu kämpfen hatten, ihr Patent weit früher ablaufen müßte, ehe sie für ihren Zeitverlust und die großen Unkosten entschädigt werden könnten. Sie wandten sich also an's Parlement, um eine Verlängerung ihres Patents zu erhalten, und da die Gründe des Gesuchs triftig schienen, so ward eine Ausdehnung von 25 Jahren von dem Datum ihrer Eingabe 1774 ihnen sehr großmüthig bewilligt, so daß ihr Patentrecht 30 Jahre dauerte, und erst 1799 erlosch.

Nachdem die Dampfmaschine auf diese Weise vollendet war, fanden Watt und Boulton durch wiederholte Versuche, daß ihre Maschinen bei dem vierten Theil Kohlen, wie sonst, dieselbe Wirkung als die früher gebräuchlichen hatten. Statt also ihre Maschinen zu übertheuern, verkauften sie sie zu wohlfeilen und billigen Preisen, und nahmen bloß ein Drittel des Werths der Ersparniß, so lange ihr Patent dauerte, wodurch sie guten Ersatz erhielten, und was zugleich für die Käufer eine äußerst vortheilhafte Bedingung war.

Nach dieser allgemeinen Geschichte der Dampfmaschine, und Angabe der Verrichtungen ihrer verschiedenen

Theile bis auf Watt's Verbesserungen, ist es nunmehr nöthig, einige minder wichtige Einrichtungen in dieser merkwürdigen Maschine anzumerken, und einige wenige Besonderheiten anzugeben, die mit Stillschweigen in der allgemeinen Beschreibung übergangen wurden, um Verwirrung zu vermeiden. Hierbei ist das Natürlichste, mit dem Kessel anzufangen, worin der Dampf entwickelt wird, und seine Wirkung durch die ganze Maschine zu verfolgen. Der Kessel selbst, soweit er mit der Dampferzeugung in Beziehung steht, ist bereits oben beschrieben. Allein er ist ein so äußerst wichtiger Theil der Dampfmaschine, daß er von Sachverständigen sehr beachtet ist, und einige seiner Verbesserungen sind höchst bemerkenswerth. Bei Ansicht von Fig. 117, Taf. XI., die eine Abbildung eines Kessels mit allem seinen bethätigenden Zubehör ist, wird man finden, daß manche von seinen Theilen noch nicht angemerkt sind, z. B. die Saugröhre, der sich selbst richtende Dämpfer, und das Sicherheitsventil, welche sämmtlich bei Maschinen angebracht werden, wenn sie gehörig aufgestellt und vollendet sind. Die erste, die Saugröhre, versorgt den Kessel mit Wasser, um das zu ersetzen, was wegkocht oder verdampft. Sie ist abgebildet in s s, und geht durch eine Oeffnung oben im Kessel, worin sie dampfdicht befestigt ist, so daß sie gerade aufrecht steht. Ihr unteres Ende geht bis auf einen Zoll oder darunter vom Boden des Kessels, wie tief er auch sey, und ihr oberes Ende, dessen Höhe mit der Stärke des zu verbrauchenden Dampfs im Verhältniß stehen muß, endigt in einen kleinen Trichter oder Wasserfang, an dessen Obertheil eine Rinne t angebracht ist, die in einen Abflußkanal führt. Die Saugröhre ist durchaus offen, oder von oben nach unten ohne Ventile: aber da gezeigt ist, daß eine Quecksilbersäule von Einem Zoll Höhe einer Wassersäule von

etwa 13½ Zoll gleich ist, so wird, wenn der Dampf Kraft genug hat, das Quecksilber in dem Dampfverdichtungsmesser q zu 6 Zoll Höhe zu heben, er auch das heiße Wasser zu 6 Fuß 9 Zoll Höhe in der Versorgungsröhre, aber nicht höher, hinaufbringen wird; folglich kann, wenn der Wasserfang und die Rinne t etwa 9 Fuß hoch sind, nie heißes Wasser aus dieser Rinne entweichen, sondern alles Wasser, was in den Wasserfang gebracht wird, so daß es eine Säule, die diese Höhe übersteigt, bildet, läuft die Röhre hinunter, selbst gegen den Druck des Dampfs innerhalb dem Kessel, und hält diesen angefüllt. Zu diesem Behuf wird immer ein sehr kleines Druckwerk wie in h Fig. 120 angebracht, welche in der Heiß-Wasser-Cisterne N bei jeder Maschine wirkt, wo die Bewegung einer solchen Pumpe durch eine der sich bewegenden Kolbenstangen bewerkstelligt wird, und so wird der Kessel beständig mit Wasser im heißen Zustande gehörig voll erhalten. Die Versorgungsröhre giebt zu gleicher Zeit die wirksamste Sicherheit gegen das Springen eines Kessels; denn sollte der Dampf durch die Achtlosigkeit des Maschinenwärters sich zu stark anhäufen, so treibt er zuerst alles Quecksilber aus dem Dampfvisir q, und strömt mit solchem Getöse durch, daß der Umstand sogleich bemerkt wird, und wenn er einer Wassersäule von der Höhe der Versorgungsröhre mehr als das Gleichgewicht hält, so drückt er alles Wasser aus dem Kessel durch die Röhre, und leert es durch die Rinne t in den Abflußkanal aus, wodurch die Möglichkeit einer großen Dampfanhäufung verhütet wird. Doch aber regulirt die Saugröhre, wie sie oben beschrieben ist, die Menge des Versorgungswassers für den Kessel noch nicht, weßhalb es nöthig wird, die Visirhähne r r zu Hülfe zu nehmen, um seine Höhe zu bestimmen. Allein durch eine geringfügige Verbesserung und Zugabe wird erwirkt, daß die Versor-

gungsröhre sich selbst regulirt, und zwar folgendermaßen: das Oberende derselben wird durch ein konisches Ventil v, das sich aufwärts öffnet, verschlossen, und durch ein darauf gesetztes Gewicht niedergehalten. Dieß Ventil ist mittelst einer Kette mit einem Ende eines kleinen Hebels u verbunden, von dessen entgegengesetztem Ende w ein Draht x oben durch den Kessel in einer luftdichten Schlußbüchse y hinuntergeht, und in ein Richtfloß z sich endigt, was auf der Oberfläche des Wassers im Kessel schwimmt. Dieß Richtfloß, was gemeinlich aus einem flachen glatten Steine besteht, wird durch ein Gewicht auf der Klappe v im Gleichgewicht gehalten, so daß es bei richtiger Füllung des Kessels gerade auf dem Wasser schwimmt, aber die Klappe v hebt, sobald das Wasser im Kessel zu niedrig wird, um das Richtfloß in seiner gehörigen Höhe zu halten: folglich bleibt, so lange der Kessel keines Wasserersatzes bedarf, die Klappe v verschlossen, und alles Wasser, was durch die Heiß-Wasser-Pumpe in den Wasserfang gebracht wird, läuft durch die Rinne t fort; aber sobald der Kessel Wasser nöthig hat, öffnet der Stein durch sein Niedersinken das Ventil v, und alles Wasser, was durch die Heiß-Wasser-Pumpe heraufgeschickt wird, läuft in der Versorgungsröhre nieder, weil die Rinne t etwas über dem Boden des Wasserfangs steht. In der Figur scheint die Klappe v den Obertheil der Versorgungsröhre nicht zu schließen, sondern schließt in das Loch eines falschen Bodens im Wasserfange ein, was aber dasselbe bewirkt. Dieser falsche Boden ist wegen der nächst zu beschreibenden Vorrichtung, nämlich des sich selbst richtenden Dämpfers, angebracht. Dieser Dämpfer ist ein gleitendes Eisenblech, was sehr gewöhnlich in Rauchkanälen oder Kaminen angewandt wird, um ihren Zug zu reguliren, und so die Stärke des Feuers in der Gewalt

zu haben; denn er schließt die Rauchröhre mehr oder minder, oder völlig zu, und läßt so eine größere oder geringere Menge atmosphärische Luft durch das Feuer gehen, oder gar keine, wodurch es ausgelöscht wird. Die Dämpfer werden also gemeinlich von denen besorgt, die die Aufsicht über das Feuer haben, aber bei einem sich selbst richtenden Dämpfer richtet sich das Feuer selbst ein, und brennt mit größerer oder geringerer Stärke, je wie es nöthig ist, und zwar auf folgende Weise: A ist ein Eisenblech oder Dämpfer, der groß genug ist, die Rauchröhre K O völlig zu schließen. Er gleitet senkrecht in eisernen Fugen mit so wenig Reibung als möglich auf und nieder. An seinem Obertheil ist eine Kette B befestigt, die über die beiden Rollen C und D, durch eine Röhre im falschen Boden des Wasserfangs, und bis in die Mitte der Versorgungsröhre s s niedergeht, bis sie sich zuletzt in das hohle oder eimerförmige Gußeisengewicht E endigt. Wenn der sich selbst regulirende Dämpfer bei einem Kessel angebracht ist, so hat die Versorgungsröhre gewöhnlich eine Ausdehnung oder Erweiterung des Durchmessers, wie in F, um das Gewicht E desto leichter zuzulassen, ohne die Röhre zu versperren, und den Niederfluß des Versorgungswassers zu hemmen. Das Gewicht E ist durch theilweise Füllung mit Blei so abgewogen, daß es das Gewicht des Dämpfblechs A, so wie die Reibung der Rollen D C, wenn die Maschine nicht geht, so eben überwinden kann; mithin wird dann die Dämpferplatte immer aufgezogen, wie in der Abbildung gezeigt ist, und die Rauchröhre völlig offen seyn, da denn das Gewicht E auf der Hervorragung der Versorgungsröhre in F ruhen muß, wozu die Kette B die gehörig passende Länge haben muß. Ist dieß alles so eingerichtet, so drückt der Dampf, sobald er im Kessel erzeugt ist, auf die Oberfläche des Was-

sers, und treibt es eine gewisse Strecke in der Versorgungsröhre hinauf, da denn das Gewicht E sich in's Wasser taucht, und dadurch einen Theil seiner Schwere verliert, und so nicht länger im Stande ist, die Dämpferplatte in ihrer vorigen Höhe zu halten; sie steigt folglich nieder, und verschließt zum Theil die Rauchröhre, wodurch die Stärke des Feuers gebrochen wird. Wird das Feuer zu sehr geschwächt, so bildet sich weniger Dampf, wodurch das Wasser auf eine geringere Höhe in der Versorgungsröhre zu stehen kömmt, und das Uebergewicht von E hergestellt wird; während, wenn das Feuer einmal so heftig wird, daß es das Wasser in den Wasserfang hinauftreibt, das Gewicht so weit gehoben wird, daß es die Rauchröhre ganz verschließt. Diese Vorrichtung ist also nicht nur zur Regierung der Kraft des Dampfs, sondern auch zur Verminderung des Verbrauchs der Feuerung wichtig, indem sie nicht gestattet, daß das Feuer stärker brennt, als zu der Arbeit nöthig ist.

Das Sicherheitsventil gehört zu den wichtigsten Zugaben eines Kessels, um den Dampf entweichen zu lassen, wenn er stärker wird, als es die Arbeit der Maschine erfodert. Es ist bereits S. 300 und ff. erörtert, aber die Form des Apparats in h i k Fig. 116 ist keineswegs zu empfehlen. Es ist daselbst als aus einer konischen Klappe h bestehend dargestellt, die durch den Hebel i und das Gewicht k in ihre Stelle gedrückt wird, welche vermöge ihrer Beweglichkeit verschiedene Grade von Druck auf die Klappe gestatten. Diese Form ist für Versuche sehr zweckmäßig, aber kann keineswegs einem ungeschickten Arbeiter in die Hände gegeben werden; denn da die nöthige Kraft des Dampfs allzeit im Voraus mit der größten Genauigkeit berechnet werden kann, so sollte kein Arbeiter in einer andern Art dieselbe controlliren können, als sie allenfalls zu vermindern.

Statt also den stählernen Hebel zum Druck zu gebrauchen, sollte man in allen Fällen die in G Fig. 117 abgebildete Sicherheitsklappe in Anwendung bringen. Sie besteht aus einer runden konischen Klappe, wie vorhin, und muß zureichend groß seyn. Ihr Flächenraum muß sorgfältig nach Zollen berechnet seyn, und wenn die höchste erforderliche Kraft des Dampfs gleichfalls bestimmt ist, sollte ein festgesetztes und unveränderliches Gewicht, was mit dieser Kraft übereinstimmt, gemacht, und oben an der Klappe befestigt werden, da denn das Ganze in eine Metallbüchse mit einem passenden Ausgange, wie in H, um den Dampf nach dem Schlote oder sonst wohin zu bringen, eingeschlossen werden sollte. Wenn z. B. die größte erforderliche Kraft des Dampfs, um eine Maschine zu bethätigen, 6 Pfd. auf den Quadratzoll beträgt, und man findet, daß die Sicherungsklappe 6 Zoll Oberfläche enthält, so giebt 6 Mal 6 das erforderliche Gewicht von 36 Pfd. für die auf die Klappe zu bringende Beschwerung, die sich alsdann nicht öffnet, als bis der Dampf mit mehr als 6 Pfd. auf den Zoll drückt. Wenn die Metallbüchse für das Ventil verschlossen ist, so kann natürlich kein anderer, als der Besitzer des Schlüssels, die Kraft des Ventils ändern. Auf dem Kessel sollte ferner ein zweites ähnliches Sicherungsventil angebracht werden, aber mit etwas minderer Beschwerung darüber, damit es sich zuerst öffnen und dem Maschinenwärter vorläufig anzeigen kann, wenn der Dampf zu stark wird, und dieß zweite Ventil kann mit einer Stange und Griff versehen seyn, wie in I, um es zu heben, und den Dampf, wenn es nöthig wird, hinauszulassen, wiewohl mit der verschlossenen Klappe kein solcher Zusatz verbunden seyn darf. Alle Kessel sollten mit Backsteinen oder sonstigen schlechten Wärmeleitern überwölbt seyn, um die Verdichtung des Dampfs, welche bei ihren

bloßstehenden Obertheilen oder Kuppeln eintreten würde, zu verhüten.

Ehe wir den Kessel verlassen, dürfte man einige Worte über die Beschaffenheit seines Ofens oder Feuerheerds erwarten, und besonders über die Mittel, den Rauch zu verzehren oder zu verbrennen; allein die Beschreibung der Maschine selbst ist so viel länger geworden, als ursprünglich die Absicht war, daß dieß in die allgemeine Bemerkung zu drängen ist, daß alle Rauchverbrenner in verschiedenen Formen bestehen, um einen Strom von frischer atmosphärischer Luft einzulassen, die sich in gehörigem Verhältniß mit dem Rauche mischt, und zwar an einem solchen Theile des Ofens, der heiß genug ist, um ihn zu entzünden. Der Rauch wird dann augenblicklich zur Flamme, und so ist natürlich das Rauchverbrennen immer eine Feuerungsersparniß, indem der Rauch, der sonst ohne alle erhebliche Wirkung abziehen würde, durch sein Verbrennen Hitze erzeugt. Man hat viele einfache und hübsche Erfindungen zu diesem Behuf, und es sind viele Patente darüber ertheilt. Sie gehörig zu beschreiben würde allein einen ganzen Band fordern. Zu den vorzüglichsten gehören die von Robertson, Watt und Boulton, Parkes, Brunton, Jessop, Arnott ꝛc.

Nach dem Kessel kommen wir zu den Dampfröhren. Diese sollten weit genug, und so kurz wie möglich seyn, damit sie der Luft nicht zu viel Oberfläche bloßstellen. Sie müssen vom Obertheil des Kessels zum Dampfcylinder in einer sehr nach oben gewandten Richtung gehen, so daß alles verdichtete Wasser, was sich darin bildet, zurück in den Kessel laufen kann, statt in den Cylinder zu kommen; folglich sollte jeder Kessel, wo möglich, tiefer gesetzt werden, als sein Dampfcylinder, und um die Verdichtung desto wirksamer zu verhüten, sollten die Dampfröhren mit

Heuseilen, Sägespähnen und Sacktuch, oder irgend einem schlechten Wärmeleiter überzogen seyn, besonders wenn sie lange oder sehr der Luft ausgesetzt sind. K L, Fig. 117, zeigt einen Theil einer Dampfröhre von paßlicher Form zum Gebrauch, wenn mehr als Ein Kessel bei einer Maschine angewandt wird, was gar nicht ungewöhnlich ist, wenn sie täglich gebraucht wird, weil der Kessel oft gereinigt und untersucht werden muß, und öfters wie jeder andere Theil der Maschine einer Ausbesserung bedarf. Hätte mithin die Maschine nur einen Kessel, so müßte sie bei solchen Gelegenheiten still stehen. Der dunkle Fleck M soll die Verbindung der Dampfröhre des zweiten Kessels mit der des ersten zeigen, die über einem großen konischen Ventil stattfindet, dessen Handhabe N durch eine Schlußbüchse geht, um es zu heben oder zu verschließen. Eine ähnliche Klappe ist über jedem Kessel angebracht, deren Zweck bloß ist, alle Verbindung zwischen den Kesseln abzuschneiden, so daß, wenn Dampf aus dem andern Kessel durch die Oeffnung M ginge, er nicht in den Kessel, der in der Abbildung gezeigt ist, trete, wenn die Klappe N verschlossen wäre, sondern gezwungen sey, durch die Röhre L zu gehen, die beide Kessel gemeinschaftlich haben, und die zum Dampfcylinder führt. Als weiteres Verwahrungsmittel gegen den Verlust des Dampfs sollte jede Dampfröhre L eine sogenannte Drosselklappe enthalten, um die Geschwindigkeit des Dampfdurchgangs vom Kessel zum Cylinder zu reguliren, und der Durchschnitt eines solchen Ventils ist in O abgebildet. Dieß Ventil besteht aus weiter nichts, als einer dünnen Metallscheibe, die ziemlich genau in die innere Oeffnung der Dampfröhre paßt, und an einer Spindel befestigt ist, die queer durch die Mitte der Röhre durch dampfdichte Gelenke geht, so daß sie von außen durch den Griff oder Hebel P umge-

dreht, und in jede Richtung gesetzt werden kann. Wenn dieser Hebel im rechten Winkel zu der Oberfläche der Scheibe steht, dann wird, sobald der Hebel gerade auf oder nieder steht, die Scheibe den dünnen Rand gegen den Dampfzug richten, und ihm wenig oder gar keinen Widerstand machen; allein sobald der Griff in die Richtung der Röhre gesetzt ist, so ist diese ganz verschlossen, und es kann kein Dampf hindurch, so daß, wenn man den Griff ein Viertel umdreht, die Dampfröhre mehr oder weniger verschlossen ist, und sonach kann die Schnelligkeit der Maschine mit der größten Genauigkeit regulirt werden. Dieser Hebel wird mittelst der Hand bewegt, wenn die Maschinen stets einerlei gehen, aber in allen Fällen, da eine Maschine zu sehr ungleichen Arbeiten gebraucht wird, würde dieß unsicher seyn, und er muß unter die gewissere Bethätigung durch die Maschinerie gesetzt werden. So z. B. wenn eine Maschine zum Bleiwalzen gebraucht wird, so ist die Arbeit äußerst schwer, und erfordert die ganze Kraft des Dampfs, während sich das Metall zwischen den Walzen befindet; aber in dem Augenblick, da es herausgeht, wird die Last gehoben, und eine Fortsetzung von einerlei Kraft des Dampfs würde eine Geschwindigkeit in der Maschinerie hervorbringen, die derselben verderblich werden könnte. Der Dampf muß also sogleich abgeschlossen oder vermindert werden, bis das Blei wieder zwischen die Walzen zu einer zweiten Operation gebracht ist, und dann ist die volle Kraft der Maschine wieder nöthig. Alles dieß wird durch eine wirklich schöne und kluge Einrichtung, die der Lenker (Governor) heißt, bewerkstelligt. Dieser ist eigentlich ein sich drehender Pendel, und ist folgendermaßen eingerichtet: — eine vierkantige Eisenstange a b, Fig. 129, Taf. XIII. mit Zapfen an ihren beiden Enden wird in senkrechter

Richtung in irgend einem bequemen Theile des Maschinenhauses festgestellt, so daß sie sich in paßlicher Weite um ihre Axe bewegen kann, und diese Bewegung wird ihr entweder durch Räderwerk mitgetheilt, oder durch eine Darmsaitenschnur, die über eine am Schwungrade, oder einem andern sich drehenden Theil der Maschine angebrachte Rolle und gleichfalls um die Rolle c geht; und die relative Geschwindigkeit des Lenkers und der Maschine muß durch Räderwerk, oder die respectiven Durchmesser der beiden Rollen genau bestimmt werden. Gegen den Obertheil der Stange oder Spindel a b sind zwei Kniehebel d e f und g e h so befestigt, daß beide sich um den gemeinschaftlichen Mittelpunct e, der an der Spindel befestigt ist, nach außen bewegen können. An das Unterende jedes Kniehebels ist eine schwere eiserne Kugel i i befestigt, und die obern Enden dieser Hebel d und g sind durch Verbindungsgelenke k k mit dem beweglichen Stück m vereinigt, was sich frei auf der vierkantigen Spindel bewegt. Während also die beiden Kugeln i i mit der Spindel a b in Berührung liegen, wird das bewegliche Stück m zu seiner möglichst größten Höhe auf der Stange hinaufgetrieben; allein wenn die Kugeln i i nach außen in die punctirten Linien gegangen sind, so muß das bewegliche Stück m hinunterrücken. Das Gewicht der Kugeln hält sie mit der Spindel in Berührung, so lange sie stillsteht, oder sich langsam bewegt, wenn aber ihre drehende Bewegung zunimmt, so treibt sie ihre Centrifugalkraft, im Verhältniß zu der Geschwindigkeit mehr oder minder aus dem Mittelpunct fort, folglich wird, je schneller sie sich bewegen, desto stärker das bewegliche Stück m niedergedrückt: l n ist ein eiserner Hebel, der sich um den befestigten Zapfen n bewegt, während sein entgegengesetztes Ende in eine Aushöhlung des beweglichen Stücks m tritt.

Hiedurch soll bloß die in m hervorgebrachte Bewegung vermehrt und verstärkt werden, wenn es nöthig ist; denn durch Verlängerung der Distanz zwischen n und l kann das Ende l in jeden erforderlichen Grad der Bewegung gesetzt werden. Um den Lenker zur Regulation der Geschwindigkeit der Maschine zu gebrauchen, wird es also bloß nöthig, das Ende l des Hebels mittelst starker Drähte mit dem Hebel P des Drosselventils zu verbinden (Fig. 117), indem man darauf achtet, daß das Ventil ganz offen ist, wenn die beiden Kugeln des Lenkers dicht an ihrer Spindel liegen, weil sich dann die Maschine mit ihrer ganzen Geschwindigkeit bewegt. Hiedurch gehen die Kugeln augenblicklich auseinander, und heben das Ende l des Hebels von dem Lenker, der durch das Aufziehen des Hebels des Drosselventils es zum Theil verschließt und die Schnelligkeit mindert. So mindert auch schwere Arbeit die Schnelligkeit der Maschine, und hält die Kugeln zusammen, aber in dem Augenblick, wie sie aufhört, hebt die vermehrte Geschwindigkeit der Maschine die Kugeln, und bringt dieselbe Verminderung hervor, bis durch neue Arbeit die Geschwindigkeit um so viel geringer wird, daß die Kugeln wieder niedergehen können. Mittelst des Lenkers kann eine Maschine bei sehr ungleicher Arbeit in fast so regelmäßigen Gang gesetzt werden, als wenn die Arbeit ganz einerlei ist.

Die Dampfröhre endigt sich am Cylinder entweder mittelst des Hahns mit 4 Löchern (S. 332), des gleitenden Einrichters (S. 335) oder die konischen Klappen oder Ventile, wie sie als Zubehör der einfachwirkenden Maschine S. 329 beschrieben sind. Aus diesen wird der Dampf in Röhren vertheilt, die nach dem Ober- und Untertheil des Cylinders und des Verdichters führen, und die Seitenröhren heißen, deren Form und Lage nach dem, was

bereits über sie gesagt ist, und nach Ansicht von Fig. 121, 122 und 125 sattsam erhellen muß. Die Seitenröhren der doppeltwirkenden Maschine sind indeß nicht angemerkt worden, wo Ventile in Gebrauch sind, wie es immer der Fall bei großen Maschinen ist, allein ihre Form und Verrichtung ist folgende: — o Fig. 130 ist die Röhre, die den Dampf vom Kessel ausführt, und ihn in die absteigende Röhre p bringt, die sich mit der Klappe q endigt, welche sich unten am Cylinder durch die Seitenöffnung öffnet, die als schattirtes Parallelogramm bezeichnet ist, während die Klappe r eine ähnliche Communication mit dem Obertheile des Cylinders macht, so daß durch das successive Oeffnen und Schließen von q und r der Dampf über und unter dem Stämpel eingelassen wird: s ist das untere Ende der Ausführungsröhre, die sich mit dem Verdichter H verbindet, und diese Röhre öffnet sich Anfangs in den Untertheil des Cylinders durch die Klappe t, und führt auch durch eine senkrechte Fortsetzung derselben Röhre v zu einem Ventil u, wodurch eine Verbindung mit dem Obertheil des Cylinders erzeugt wird. Die zwei Oeffnungen in den Cylinder, die die Tüllen (Schneppen) heißen, haben also den doppelten Zweck, den Dampf zuzulassen, und das Vacuum zu bilden, was ganz einfach durch die Thätigkeit der Klappen regulirt wird. Denn wie die Figur jetzt steht, ist r die einzige offene Klappe in der Dampfröhre, folglich würde Dampf über den Stämpel treten, ihn hinunterzudrücken, während ein Vacuum unter ihm wäre, weil die Klappe t gegen den Verdichter offen ist. Sobald der Stämpel den Boden des Cylinders erreicht, müssen die Klappen r und t verschlossen, und u und q geöffnet werden, da denn der Dampf nicht länger durch r kommen kann, sondern in der Röhre p hinuntergehen, und durch q in den untern Theil des Cylinders treten

muß, während u, was durch die Röhre v für den Verdichter offen ist, das nöthige Vacuum über dem Stämpel macht, um ihn in die Höhe gehen zu lassen. Sobald dieß geschehen ist, müssen die Klappen wieder in die Lage gesetzt werden, wie sie in der Figur angegeben ist, um sein Niedersteigen zu bewirken, u. s. f. Die besondere Weise zu beschreiben, wie diese Ventile bewegt werden, würde zu viel Zeit wegnehmen, und die Gränzen des gegenwärtigen Werks weit überschreiten, was nicht bestimmt ist, alles bis in die kleinsten Theile genau auseinander zu setzen, um einem Künstler Anweisung zum Bau der Dampfmaschine zu geben, sondern nur die allgemeinen Grundlagen ihrer Wirkung anzugeben. Es ist also zureichend zu diesem Zweck, anzugeben, daß diese Klappen entweder durch Hebel, die dampfdicht durch die Seitenröhren gehen, bethätigt werden, oder daß zuweilen Klappenspindeln durch einander wirken und zwar in Schlußbüchsen, wie zu Fig. 121, gezeigt ist, da sie denn durch äußere Kraft bethätigt werden. Auch geschieht es nicht selten, daß man eine Dampf- und Verdichtungsklappe verbindet, da sie sich erforderlichenfalls durch eine äußere Stange gleichzeitig öffnen und schließen können, wie in der Abbildung gezeigt ist. Die Klappen in den Maschinen, die kein Schwungrad haben, werden durch eine Stange oder einen Balken in Bewegung gebracht, der mit dem Maschinenbalken sehr nahe am Cylinderende desselben verbunden ist, und der Zapfenbaum (plug tree) heißt. Dieser Zapfenbaum ist mit gewissen richtbaren Hervorragungen, welche Zacken (Zapfen, tappets) heißen, versehen, die in die Hebel oder Griffe der Ventile fassen, und sie so öffnen und in den gehörigen Zeiträumen verschließen, wie sie mit dem Balken steigen und fallen. Allein bei allen Maschinen mit Schwungrädern hält man es für besser, eine excentrische Rolle

auf der Schwungradwelle anzubringen, x, Fig. 118, und dieß zieht durch sein Umdrehen wechselsweise eine mit ihm verbundene Stange vor- und rückwärts, und theilt so den Klappen eine vollständige Bewegung mit. Ein solcher Apparat ist in Fig 131 abgebildet, worin w ein Queerdurchschnitt der Schwungradswelle ist, und x das excentrische Rad, was darauf befestigt ist und sich mit ihm umdreht; ein cirkelförmiger Kranz von Metall y y umschließt dieß excentrische Rad in solcher Weise, daß es sich herumdrehen kann, und von diesem Kranze gehen zwei lange Arme z z aus, die zusammengeklammert sind, um ihre Stärke zu vermehren. Sie endigen sich in eine einzige Stange a, woran die Zapfen b c befestigt sind, wobei d e einen Hebel vorstellt, der mit dem Hahn oder den Klappen der Maschine verbunden ist, und zum Theil um sein Centrum e umgedreht werden muß; während das excentrische Rad x in der Lage bleibt, die in der Figur gezeigt ist, kann keiner der Zapfen b oder c eine Kraft auf den Hebel d haben, sondern durch das Umdrehen der Schwungradwelle wird das excentrische Rad wechselsweise in die Lage des punctirten Cirkels und eine dieser genau entgegengesetzte gebracht, mithin gleitet die Stange a rückund vorwärts, und ihre Zapfen geben abwechselnd dem Hebel d solch einen Impuls, daß er sich dadurch in der erforderlichen Weite bewegt. Jeder Maschinenmacher hat seine Lieblingsweise, die Ventile zu bewegen, und da kaum zwei Maschinen in dieser Rücksicht überein gebaut gefunden werden, so ist es vergeblich, mehr als eine allgemeine Erklärung dieses Theils der Maschine zu geben.

Von den Seitenröhren kommen wir zu dem Dampfcylinder, rücksichtlich dessen bloß zu bemerken nöthig ist, daß er jetzt beständig sehr stark auf einer massiven Erhöhung von Backstein oder Gemäuer, die Cylindermauer

genannt, mit Riegeln befestigt wird, so daß er dadurch vollkommen feststeht. Inwendig ist er sehr genau gebohrt und geschliffen, und die Oeffnungen, wodurch der Dampf hineintritt, sind so nahe wie möglich an seinem Oberende und Boden angebracht, und nie cirkelrund, sondern lange Parallelogramme, um dem Dampfe so viel als möglich Durchgang zu geben, ohne der Länge des Cylinders Abbruch zu thun; denn der Stämpel muß in keinem Falle diese Oeffnungen bedecken, sonst würde der Durchgang des Dampfs gehemmt werden, indeß, wenn ein zu großer Raum über und unter dem Stämpel gelassen wäre, viel Dampf verloren ginge. Die Dampfgänge werden daher sehr oft in einer Hervorragung über dem Obertheil und unter dem Boden des Cylinders gebildet, statt durch die Seite desselben zu gehen; und auf diese Weise sind sie dem Stämpel durchaus nicht im Wege. Bei kleinen Maschinen ist der Cylinder auswendig mit Holz oder Flanell bekleidet, aber bei größern umgiebt eine hohle metallene und luftdichte Bekleidung den ganzen Cylinder und steht davon etwas ab, und der Raum zwischen beiden ist mit Dampf aus dem Kessel mittelst einer eigenen Röhre gefüllt, wodurch der Cylinder so heiß gehalten wird, wie der in ihn tretende Dampf. Da Maschinencylinder im Durchschnitt von beträchtlicher Höhe sind, so werden sie gewöhnlich mit einer Gallerie, 3 oder 4 Fuß unter ihrem Oberende, umgeben, damit der Arbeiter bei'm Einfüttern des Stämpels oder bei andern Reparaturen darauf stehen könne. Der Stämpel, der sich im Dampfcylinder bewegt, bestand ehemals aus zwei runden Eisenplatten, die durch Schrauben mit einander verbunden waren, welche zu gleicher Zeit dazu dienten, den Hanf oder andere Fütterungsmittel zwischen ihren äußern Rändern festzuhalten, um sie luftdicht zu machen; und da die Kraft, die auf den Stämpel wirkte,

beſtändig nach unten ging, ſo hing er bloß mittelſt eiſerner Bänder oder Ketten an der Kolbenſtange, wie in d, Fig. 119 abgebildet iſt. Jetzt, da die Kraft ſowohl von unten als oben angewandt wird, wird der Stämpel verſchieden eingerichtet und befeſtigt, wie Fig. 120, 121 und 122 zeigen; denn man bringt eine weit größere Menge Futter zwiſchen das Ober- und Bodenſtück, und ſtatt daß dieſe bloße Scheiben waren, werden ſie jetzt, wie in Fig. 132 im Durchſchnitt abgebildet iſt, aus zwei Stücken f f und g g, die gewöhnlich von Gußeiſen ſind, gemacht. Das unterſte Stück f f hat die Geſtalt wie in der Abbildung, ſo daß es einen Theil der Aushöhlung h h für das Futter bildet, und das Oberſtück g g vollendet dieſe Aushöhlung, wenn es in ſeine gehörige Stelle gebracht wird; da aber eine gewiſſe Portion von dem Obertheil von f f cylindriſch gemacht iſt, ſo paßt das Obere g g darauf, wie der Deckel einer Büchſe, und die beiden Stücke werden durch die Schrauben i i zuſammengehalten, vermittelſt derer die Entfernung derſelben von einander regulirt werden kann. Das Futter h h beſteht aus loſem oder ungeſponnenem Hanf, der gehechelt und in die Aushöhlung gedreht wird, wobei die Stücken f f und g g ſo weit von einander entfernt ſind, als es die Schrauben i i erlauben, und wenn die Fütterung ſo feſt und dicht wie möglich gemacht iſt, wird der Stämpel in den Cylinder gebracht, nachdem die Schrauben i i angezogen ſind, um das Ober- und Unterſtück des Stämpels ſo dicht als möglich zuſammenzubringen, durch deren eigenthümliche Form das Futter herausgequetſcht wird, ſo daß es kräftig gegen die Wandungen des Cylinders drückt. Wenn ſich dieß Futter abnutzt und zu ſchwach wird, ſo bedient man ſich dieſer Schrauben, die je nach der Größe des Stämpels an Anzahl verſchieden ſind, um ihn anzuziehen, ſo weit es mög-

lich ist; und kann dieß nicht weiter geschehen, so muß das Oberstück des Stämpels losgemacht, und eine neue Quantität Futter eingebreht werden. Die Kolbenstange ist mit dem Bodenstück f f des Kolben verbunden, indem sie darin durch ein konisches Loch, was zu ihrer Aufnahme bestimmt ist, hinaufgeht, und was genau zu dem Unterende der Stange paßt, wobei eine Schraubenmutter m, die zwischen den Ober- und Untertheil angebracht ist, sie aufwärts zieht, und kräftig befestigt. Da der Stämpel selbst und das Obertheil des Cylinders, was losgemacht werden muß, um daran zu kommen, beträchtlich schwer sind, so ist es bei allen großen Maschinen üblich, einen Kran oder Hebel an einer bequemen Stelle über dem Cylinder anzubringen, um diese Operationen zu erleichtern. Hr. Arthur Woolf erfand, um die Entfernung des Cylinderdeckels seltener nöthig zu machen, einen Stämpel, bei dem die einer der Schrauben i i gegebene Bewegung den übrigen sämmtlich durch Zahnräder mitgetheilt wurde, die innerhalb mit dem Obertheil des Stämpels verbunden waren, so daß ein großer Schlüssel, wie ein Uhrschlüssel, durch ein Loch im Cylinderdeckel eingebracht werden konnte, um auf diese eine Schraube zu wirken, und dadurch konnten die sämmtlichen andern Schrauben im Stämpel jederzeit angezogen werden. Sonst ward diese Oeffnung durch einen luftdichten Schraubenzapfen verschlossen. Auf dem Cylinderdeckel befindet sich auch eine Vertiefung, worein Talg gethan wird, was durch die Hitze des Dampfs schmilzt, und durch einen Sauger mit einem Schlußhahn zuweilen in den Cylinder gebracht wird, um den Stämpel dampfdicht zu erhalten, und die Reibung desselben zu vermindern. Das Futter um die Kolbenstange her und überhaupt in allen Stopfbüchsen wird gleichfalls aus losem

eingetalgtem Hanf gemacht, und zuweilen aufgeschraubt, um seinen Druck zu vermehren.

Um Mühe und Kosten des öftern Fütterns zu sparen, wird zuweilen der Kolben ganz aus Metall gemacht, und Messing scheint zu diesem Behuf am besten, besonders wenn der Cylinder von Gußeisen ist, wie es gewöhnlich der Fall ist. Der Metallstämpel des Dr. Cartwright ist viel zu diesem Zweck angewandt, und sehr passend befunden. Er besteht aus zwei Messingringen, die die volle Stärke des Cylinders haben, und in verschiedene Segmente geschnitten, wie in 1111, Fig. 133, und übereinander gelegt sind, so daß die Fugen nicht übereinander liegen. Die Fugen in dem Unterringe sind durch punctirte Linien in der Abbildung angegeben, und in dieser Lage werden die beiden Ringe durch eine Ober- und Unterplatte, woran die Stämpelstange befestigt ist, wie in Fig. 134, festgehalten. Die Segmente werden durch Stahlfedern, n n n Fig. 133, vom Mittelpuncte fortgetrieben.

Einer der besten Stämpel dieser Art ist in Fig. 135 abgebildet; er besteht aus einem dicken Messingringe o p q, statt aus zweien, wie im letzten Falle. Dieser Ring paßt natürlich sehr genau in den Cylinder, und wird zuerst in die Form des gleichseitigen Dreiecks o p q geschnitten, indem man die drei Segmente r r r abnimmt. Darnach werden dem Dreieck die drei Ecken abgeschnitten, so daß drei kleinere Dreiecke s s s gebildet werden, da denn das Mittelstück wegfällt, die drei Segmente r r r und die drei kleinern Dreiecke s s s aber durch Scheiben zusammengehalten werden, wie bei dem letztbeschriebenen Stämpel, und endlich drücken drei Federn t t t nach außen von der Stämpelstange gegen die Rücken der Dreiecke s s s, die als Keile wirken, um die Segmente gegen die Wandung

des Cylinders zu drücken, und so wie diese abgenutzt werden, dringen die Spitzen der Keile selbst vor, und machen, da sie von einerlei Metall sind, einen Theil des Stämpels aus. Man hat einen Stämpel dieser Art gekannt, der viele Jahre gearbeitet hat, ohne einer andern Beachtung nöthig zu haben, als ihn gehörig geschmiert zu halten, und für einen genauen Cylinder ist er eine der besten Formen, die man anwenden kann, besonders in Dampfmaschinen mit hohem Druck.

Von der Stämpelstange, die immer von Schweißeisen, und äußerst sorgfältig abgedreht ist, wird die Kraft des Dampfs dem Balken vermittelst eines Parallelbewegungsapparats, wie er in Fig. 127 und 128 abgebildet ist, mitgetheilt, und es braucht eben nichts über den Balken gesagt zu werden, außer daß, wiewohl er zuweilen von Holz gemacht wird, wie es ehemals beständig geschah, er doch jetzt häufiger aus Gußeisen in paraboliſcher Form gemacht und wobei man ihn mit Buckeln, wie in Fig. 128, zugleich verstärkt und verziert. Der Balken ist gewöhnlich aus einem Stück gegossen, aber in sehr großen und starken Maschinen ist er aus zwei parallelen Schenkeln gebildet, die ein paar Zoll auseinander stehen, und in diesem Falle sind alle die Stämpel- und Verbindungsstangen, die keine Parallelbewegung nöthig haben, zwischen diesen Schenkeln verbunden. Bei Doppelmaschinen mit Schwungrädern ist keine Vorsicht nöthig, um die Bewegung des Balkens zu beschränken, weil dieß sehr wirksam durch die Länge des Knies geschieht; aber bei einfachen Maschinen ohne Knie ist ein sehr starkes Stück Holz oben queer über dem Balken befestigt, wie in i Fig. 128, so daß es gegen zwei sehr starke Holzfedern trifft, die zu beiden Seiten des Balkens angebracht, und gegen die Mitte der beiden Hauptbalken gestützt sind, die die Mitte K des Ma-

schinenbalkens halten, und deßhalb die Federbalken der Maschine heißen. Die Federn sind an der Stelle, wo sie den Schlag erhalten, mit Kork belegt, um Getöse zu verhüten, und mit einer Glocke in Verbindung, die sie anziehen, wenn sie zu heftig getroffen werden, um anzuzeigen, daß die Zapfen, wodurch die Dampfventile geöffnet werden, verrückt sind, und sonach anders gestellt werden müssen, so daß sie genau in dem Augenblick die Wirkung des Dampfs abschneiden, wenn der Balken seinen gehörigen Zug vollendet hat. In einigen kleinen Maschinen besteht der Balken aus zwei Hälften, und hat eine dreieckige Form, indem eine Hälfte an jeder Seite der Maschine angebracht ist, und zwar unter dem Cylinder, statt darüber, in welchem Falle die Maschine eine Glocken-Knie-Maschine heißt, wegen der Aehnlichkeit in der Wirkung dieses Apparats mit den Knieen bei Glockenzügen.

Nach dem Balken und Cylinder kommen wir zum Condensator H, Fig. 120. Von diesem ist früher bemerkt, daß er in einer Cisterne mit kaltem Wasser I I steht, die beständig durch die Kalt-Wasser-Pumpe O neu gefüllt wird. Man fand indeß bald, daß das bloße Eintauchen des Verdichters in kaltes Wasser keine hinlänglich schnelle Verdichtung hervorbrachte, wie sie die Dampfmaschine nöthig machte, und es wurde daher nothwendig, einen sehr kleinen Strom von kaltem Wasser im Innern anzubringen, was durch den Injectionshahn geschieht. Die Lage dieses Hahns ist in g in der Abbildung gezeigt, und zwar unter der Oberfläche des Wassers in der Cisterne I I, so daß der Wasserstrom, der in den Verdichter geht, mit dem Dampf bei seinem Eintritt zusammentrifft. Der Injectionshahn wird durch eine lange Spindel gedreht oder geöffnet, die oben hinauf durch den Boden des Maschi-

nenhauses geht, bis sie sich in den kleinen Stiel oder Hebel i endigt, der als ein Zeiger wirkt, und sich über einem mit Graden versehenen Messingcirkel bewegt, um den Grad der Oeffnung des Hahns anzuzeigen, oder auch wenn er geschlossen ist, weil, da in dem Verdichter während der Thätigkeit der Maschine ein Vacuum hergestellt ist, ein sehr unbedeutendes Drehen des Hahns einen großen Unterschied in der Menge des hineingelassenen Wassers machen wird. Die Wichtigkeit des Injectionshahns ist so groß, daß in einigen Maschinen zu Dampfböten, wo man es wegen der Bewegung der See unmöglich gefunden hat, das Wasser des Kalt-Wasserkübels in seiner gehörigen Höhe zu halten, die Verdichtung bloß und gänzlich durch die Wasserinjection ohne eine Cisterne bewerkstelligt ist. Das Vacuum im Verdichter wird durch die Verdichtung des Dampfs und die Wirkung der Luftpumpe K hervorgebracht, und es ist von Belang, dieß Vacuum so vollkommen, wie möglich, zu erhalten, weßhalb es nöthig wird, Beurtheilungsmittel seiner Beschaffenheit zu haben, und ausmitteln zu können, ob die Luftpumpe gehörig ihre Dienste thut. Dieß geschieht durch den sogenannten Barometer, der aus einer kleinen luftdichten eisernen Röhre besteht, die vom Obertheil des Verdichters abgeht, und in eine Glasröhre von 32 Zoll Länge endigt, die gegen die Wand des Maschinenhauses, oder an irgend einer festen Stelle befestigt ist, und Queckſilber enthält. Der untere oder eiserne Theil dieser Röhre kann eine unbestimmte Länge haben, aber der obere Theil für das Queckſilber ist in die Form wie K in der Figur gebogen. Da ihre Wirkungsart genau dieselbe wie die des Hebervisirs der Luftpumpe (Fig. 59) ist, so muß sie ohne weitere Erörterung genugsam einleuchten.

Der Condensator hat noch einen Zusatz, das Blaseventil (the Blow Valve), wovon zu bemerken ist, daß es, um der Maschine die erste Bewegung zu geben, sehr nöthig ist, wiewohl es nachher unthätig und unnütz wird. Dieß Ventil ist in Z Fig. 120 abgebildet, und besteht bloß aus einer konischen Klappe, die sich nach außen am Ende einer Röhre öffnet, welche in das Innere des Verdichters führt, und gleichfalls in einem besonderen Behälter mit kaltem Wasser steht. Sein Nutzen ist, das erste Vacuum hervorzubringen, ehe sich die Maschine zu bewegen anfängt, denn da eine weit größere Reibung zu besiegen ist, so lange das Fett im Stämpelfutter und dem Futter aller übrigen Schlußbüchsen kalt ist, als es nachher der Fall ist, so würde, wenn bloß an der einen Seite des Stämpels Dampf angebracht würde, ehe auf der andern ein Vacuum gemacht wäre, es beinahe unmöglich seyn, die Maschine in Gang zu setzen. Um also eine Maschine in Bewegung zu setzen, muß der Injectionshahn g zu, und alle die andern Ventile zugleich geöffnet seyn, wozu der Mechanismus der Ventile immer eingerichtet wird. Hiedurch geht der Dampf nicht nur in den Cylinder über dem Stämpel, sondern darunter, und zu gleicher Zeit in den Verdichter, und dieß nennt man das Durchblasen der Maschine. Es muß so lange fortgesetzt werden, bis alle Theile hinlänglich warm werden, um wirken zu können, und der überflüssige Dampf geht, so wie die Theile erwärmt werden, fort und entweicht durch die Blaseklappe, die durch die Kraft des Dampfs gehoben wird, und unter kaltem Wasser in der Cisterne Z steht, um ihn bei'm Entweichen zu verdichten, damit das Maschinenhaus nicht damit angefüllt werde. Dieß Durchblasen ist es, was das sehr laute Getöse bei'm Angehen großer Maschinen hervorbringt, und einen kleinen Dampfverlust für einige Mi-

nuten verursacht, was nicht wohl zu verhüten ist. Sobald die Maschine hinlänglich erwärmt ist, muß die Seitenröhrenklappe, die den Dampf in den Verdichter einließ, verschlossen, und der Injectionshahn g geöffnet werden, indem man seinen Handgriff i dreht, da denn in dem Verdichter sogleich ein Vacuum entsteht, während auf der entgegengesetzten Seite des Stämpels der Dampf noch fortwirkt. Der Stämpel fängt also an, sich zu bewegen, und wenn er einen oder zwei Züge gemacht hat, so sind alle Theile der Maschine gehörig erwärmt, und die Bewegung geht fort. Sollte dieß aber nicht der Fall seyn, dann muß das Durchblasen wiederholt werden, bis die Maschine gehörig wirkt, worauf das Blaseventil unthätig wird, und der Wirkung des Verdichters nicht schadet, weil es durch den Druck der Luft beständig dicht verschlossen gehalten wird.

Der Nutzen der übrigen Theile der Maschine, als der Luftpumpe K, die ihr heißes Wasser in die kleine Cisterne N ausleert, und der Kalt-Wasser-Pumpe O, die die Cisterne I I beständig angefüllt erhält, braucht keiner weitern Erklärung, da nichts Eigenthümliches in ihrer Einrichtung ist. Die kleine Druckpumpe h, die in der Heißen-Wasser-Cisterne N wirkt, versorgt den Kessel mit heißem Wasser, was sie durch ihre Steigeröhre p in den Wasserfang der Versorgungsröhre s s, Fig. 117, bringt, und da dieß Wasser hauptsächlich durch Dampfverdichtung hervorgebracht wird und folglich wenig oder gar keine Luft enthält, so ist es jedem anderen vorzuziehen.

Bei der frühern Einrichtung der Dampfmaschinen, selbst nach den Wattschen Verbesserungen, war es Gebrauch, den Dampf auf den Stämpel in seinem ganzen Fortgange von einem Ende des Cylinders zum andern wir-

ken zu lassen, wodurch, wie man fand, die Bewegung des Stämpels so beschleunigt wurde, daß sie in dem Augenblicke, wo sie stillhalten mußte, am schnellsten war. Dieß war verderblich für die Maschine, nicht nur wegen der Unregelmäßigkeit der Bewegung, sondern wegen der großen Momentmenge, die nothwendigerweise im Stämpel, in dem schweren Balken und überhaupt in den sämmtlichen beweglichen Theilen der Maschine erzeugt wurde, und die zwischen jedem Zuge mit einer großen Kraftaufopferung vertilgt werden mußte. Watt fand indeß, daß er die Bewegung des Stämpels regelmäßig fortschreitend machen konnte, statt beschleunigt, wenn der Dampf nach und nach abgeschlossen würde, weit früher als die ganze Bewegung zu Ende wäre, und daß mit Hülfe des vorhin erlangten Moments (was bei fortgesetzter Einwirkung des Dampfs eine nachtheilige Beschleunigung hervorgebracht haben würde) die Elasticität des vorher eingelassenen Dampfs den Zug des Stämpels vollenden würde. Dieß fiel ungeheuer vortheilhaft rücksichtlich der Kosten aus, denn statt einen ganzen Cylinder voll Dampf für eine einzelne Bewegung des Stämpels zu verbrauchen, fand man, daß die Hälfte dieser Menge beinahe eben so wirksam war, in Folge dessen Watt 1782 ein besonderes Patent für diese Anwendungsart des Dampfs erhielt. Bei seinen nachfolgenden Versuchen, wobei ihm der Professor Robison beistand, ergab sich, daß ein Viertel eines Cylinders voll Dampf, drei Fünftel der Wirkung that, als die ganze Quantität gethan haben würde, so daß durch Abschließen des Dampfs, wenn der Cylinder von einem Viertel bis zur Hälfte gefüllt wurde, fast ganz dieselbe Quantität der Wirkung geschah, und zwar mit einer weit gleichförmigeren Bewegung, als wenn die ganze Quantität gebraucht wurde.

Dieser Umstand ist von der größten Wichtigkeit, um die Kraft einer Maschine bei einer ungleichmäßigen Arbeit zu reguliren, da durch veränderte Einrichtung des Oeffnungs- und Schließapparats die Maschine ihren Dampf entweder am Ende jedes Zuges, oder so früh man will, abschließen kann. Diese Anwendungsart des Dampfs ist jetzt durchaus im Gebrauch, und der Hahn mit 4 Löchern oder das Gleitventil sind deßhalb nicht die vollkommensten Erfindungen zur Dampfvertheilung, wie schon oben bemerkt ist, weil bei diesen beiden in dem Augenblicke, da an einer Seite des Stämpels ein Vacuum gebildet wird, der Dampf eintritt, und auf die Gegenseite zu wirken fortfährt, bis durch ihre Bewegung die Operation umgekehrt wird; während mit den besondern Klappen in Fig. 121 und 130 in jedem Theile des Zugs der Dampf abgeschnitten und zugleich das Vacuum erhalten werden kann, bis der Stämpel das Ende des Cylinders erreicht. Bei großen Maschinen, wo der Cylinder mehrere Orhoft faßt, macht dieß eine wesentliche Ersparung, aber bei kleinern, wo er nur ein paar Gallonen hält, ist es von geringerer Bedeutung.

Die Sicherheit aller Theile einer Maschine und die Genauigkeit ihrer Bewegung hängt vornehmlich von dem genauen Oeffnen und Schließen ihrer Ventile zur gehörigen Zeit ab, denn wenn sie dann verschlossen blieben, wenn sie sich öffnen sollten, oder umgekehrt, so dürfte beträchtliches Unheil für die Maschine erfolgen, indem der Dampf in falscher Richtung gehen, und den Stämpel nach dem Ober- oder Untertheil treiben würde. Bei Einrichtung des Oeffnungs- und Schließapparats muß also auf diese Umstände besonders geachtet werden, und um so mehr, weil in der Praxis die Ventile einen beständigen Hang haben zuzubleiben, wenn sie einmal verschlossen sind, und

das Mittel was nothhalber angenommen ist, um dieß abzustellen, sie leicht zur ungehörigen Zeit öffnet. Den Grund dieses Mangels wird man bei Ansicht einer der Figuren finden, wobei Ventile angebracht sind, z. B. Fig. 121, worin die Klappe f als geschlossen dargestellt ist. Wenn nun die Maschine als im Gange betrachtet wird, so wird der Dampf auf den Obertheil dieser Klappe drücken, wobei ein Vacuum unter ihr ist, mithin wird sie in ihrer Stelle sehr kräftig niedergehalten werden, so stark, daß keine gewöhnliche Kraft sie heben könnte; denn wenn diese Klappe 10 Zoll im Durchmesser hat (was die gewöhnliche Größe bei großen Wasserkunstmaschinen ist, S. 331.), und die Gesammtkraft des Dampfs und Vacuums 15 Pfund auf den Quadratzoll beträgt, so wird die Klappe mit nicht weniger als 1125 Pfund Kraft niedergehalten; und selbst wenn die Klappen d und e geschlossen sind, so dauert das Vacuum noch darunter fort, so daß, ehe sie geöffnet werden kann, um Dampf unter den Stämpel zu lassen, diese ungeheuere Kraft überwältigt werden muß. Wenn f offen ist, so ist das Ventil e unter einerlei Umständen verschlossen, da es unten ein Vacuum und oben einen ähnlichen Druck des Dampfs hat, mithin muß man ein Mittel treffen, um diese Kraft zu reduciren, oder die Ventile und der Oeffnungs- und Schließungsapparat wären außer Stande, ihr zu widerstehen. Bei Maschinen unter 30 Pferde-Kräften werden die Klappen also durch sogenannte Taucher gewichte geöffnet, statt durch den gewöhnlichen Apparat, deren einzige Verrichtung ist, jene im gehörigen Augenblick loszulassen, und nachher durch Aufheben der Gewichte zu verschließen. Die Tauchergewichte sind hinlänglich schwer gemacht, um den Widerstand der Ventile zu besiegen, und mittelst gerader Stangen mit ihren Hebeln verbunden, so daß sie die Klappen beständig offen halten; mithin wenn

ein Ventil geschlossen werden soll, muß sein Tauchergewicht durch die Maschine gehoben werden, und Federklinken werden an den Hebeln der Klappen angebracht, so daß sie sie in ihrer zugeschlossenen Lage erhalten, und ihre Wiederöffnung verhüten, bis diese Klinken durch die Thätigkeit des Apparats losgelassen werden. Diese Einrichtung, nur bei einem einzigen Ventil angewandt, um in der Abbildung keine Verwirrung zu machen, ist in Fig. 130 gezeigt, wo w x y den Hebel oder Handgriff des Ventils q vorstellt, der sich um einen Zapfen w dreht, und dampfdicht in eine viereckige Höhlung der Seitenröhren geht, die eigends oben und unten um die Ventile zu enthalten, angebracht ist. Aus dem Theile x dieses Hebels steigt die Taucherstange x z senkrecht hinunter, und endigt in dem Tauchergewicht a, was schwer genug seyn muß, den Druck des Dampfs auf das Ventil q, wenn es zu ist, zu besiegen, und es zu öffnen, indem es seinen Hebel in die punctirte Lage w b niederzieht; c ist ein Zahn oder Vorsprung, der gleichfalls an dem Zapfen des Ventils so befestigt ist, daß er sich damit bewegt, oder die Bewegung des Ventils hindert, wenn er feststeht, und d e ist eine Klinke, die sich um einen Mittelpunct dreht, aber in ihrer horizontalen Lage mittelst einer Feder gehalten wird, wie in der Figur gezeigt ist. Wenn das Ventil q geschlossen ist, so ist der Zahn c in solch einer Lage, daß er sich gegen den platten Kopf der Klinke d legt, und dieß Ventil dicht verschlossen, und seinen Hebel in der hohen Stellung y erhält. Es kann also kein Dampf durch q, aber da das obere Dampfventil r offen ist, so geht er in den Obertheil des Cylinders, und drückt den Stämpel hinunter: f g ist der Untertheil des Zapfenbaums, dessen oben erwähnt ist, und dessen Obertheil an den Maschinenbalken tritt, oder mit der Stämpelstange verbunden ist, so daß, wenn diese

steigt oder fällt, der Zapfenbaum dasselbe thut, folglich wird er unter den jetzigen Umständen seinen Niederzug machen: h ist ein Zapfen oder richtbarer Nagel, der darauf befestigt ist, und so stehen muß, daß, wenn der Stämpel seinen Niederzug vollbracht hat, dieser Nagel mit dem Ende e der Klinke in Berührung kommen und es niederdrücken kann, wodurch ihr entgegengesetztes Ende d hoch genug gehoben wird, den Zahn c unter sich durchzulassen, was in Folge des Gewichts a geschieht, und so das Ventil q zu öffnen, und seinen Hebel in die Stellung w b zu ziehen. Durch eben diese Bewegung wird die obere Dampfklappe r geschlossen, mithin ändert der Stämpel sogleich seine Richtung, und fängt an zu steigen, wobei er den Zapfenbaum mit sich nimmt, bis ein anderer Nagel oder Zapfen, der in i darauf befestigt ist, unter das niedergedrückte Ende b des Ventilhebels kömmt, und ihn in seine vorige Lage y hebt, wobei das Ende des Zahns c gegen die Neigefläche gedrückt wird, die auf der Unterseite der Klinke in d gebildet ist, wodurch er sie aufheben und darunter wegkommen kann, so daß sie nachmals ihre vorige Lage wieder annimmt; und da bei'm Schließen des Ventils q, das in r sich öffnet, so fängt natürlich der Stämpel einen andern Niederzug an. Nach dieser Erklärung wird leicht zu begreifen seyn, wie die Ventile des Verdichters durch ähnliche Vorrichtungen bethätigt werden können.

Der plötzliche Niederzug eines Gewichts, was schwer genug ist, die Klappen einer starken Maschine zu öffnen, würde mit schlimmen Unfällen verbunden seyn, hätte man kein Hülfsmittel, um seine Kraft zu vermindern. Zu diesem Behuf bewegt sich jedes Tauchergewicht in einer starken Büchse oder Kapsel k k, die ziemlich genau darum paßt, und da diese mit dem Gewicht selbst zusammen in

die Kaltwassercisterne gebracht ist, so ist natürlich diese Büchse immer mit Wasser gefüllt, was durch die sich nach innen öffnende Klappe l hinzugelassen wird; geht das Tauchergewicht nieder, so findet es also Widerstand am Wasser, wodurch es sich bloß langsam bewegen kann; aber bei'm Steigen öffnet sich die Klappe l, und gestattet die schnellste Bewegung, und verhütet zu gleicher Zeit jede unnöthige Beschwerung, die auf den Zapfenbaum geworfen wird, wobei noch der Hebel x y hilft, indem dieser Arm viel länger als x w ist. Bei sehr starken Maschinen würde nothwendig das Tauchergewicht so groß seyn, daß es große Unbequemlichkeit machen würde, und Watt und Boulton haben daher sehr sinnreich einen kleinen besondern Dampfcylinder nebst Stämpel eigends dazu vorgerichtet, um den Druck von den Ventilen zu entfernen. Die Stämpelstange dieses kleinen Cylinders, die gewöhnlich unmittelbar unter den Seitenröhren befestigt ist, ist eine Fortsetzung der Stange, durch die die Klappen verbunden sind, und ist dampfdicht gemacht, indem sie durch Schlußbüchsen geht. Der Stämpel hat einerlei Durchmesser mit den Klappen, womit er verbunden ist, und die Dampfgänge sind so aus den Seitenröhren fortgesetzt, daß, wenn Dampf auf die Oberseite irgend einer Klappe drückt, er zu gleicher Zeit unter den Stämpel zugelassen wird, und so diese Klappe mit einer Kraft zu heben sich bestrebt, die der ganz gleich ist, die sie niederdrückt, mithin bewegt sich die Klappe mit derselben Leichtigkeit, als wenn sie in freier Luft wäre. Die Tauchergewichte brauchen also nicht schwerer zu seyn, als nöthig ist, die Reibung des Stämpels, so wie der Schlußbüchsen der Ventilspindeln, zu bezwingen. Bei solchen Maschinen, die mit einem Hahn mit 4 Löchern, oder einem gleitenden Regulator wirken, sind Tauchergewichte unnöthig, und können sie in der That nicht

wohl angebracht werden, wiewohl die Bewegung, die sie machen, immer wünschenswerth ist, weil der Dampf nicht zu plötzlich abgeschnitten werden kann, sondern nach und nach zugelassen werden sollte; denn wenn seine Kraft zu plötzlich auf den Stämpel geworfen wird, so kann durch seine Bethätigung, ehe die vis inertiae des Stämpels und Balkens bezwungen ist, Schaden geschehen. Der Gleiter und Hahn sind gleichfalls einem andern Uebelstande unterworfen, nämlich daß, wenn der erste bei einer zu starken Maschine angewandt wird, die Gleitbüchse x x Fig. 125 durch die beständige Wirkung des Dampfs auf ihre Außenseite und durch das Vacuum darin, so stark gegen die Fläche t t gedrückt wird, daß sich die reibenden Theile bald abnutzen, ungleich werden, und aufhören, dampfdicht zu seyn, und oft bleibt aus derselben Ursache der Gleiter stecken, oder fodert große Kraft, um bewegt zu werden. Auch der Hahn, Fig. 122 und 123, da er nur ein Viertel herumgedreht wird und wieder zurück, verliert dadurch seine Rundung, und hört auf, dampfdicht zu seyn, indem er unregelmäßig wird. Dieser Mangel ward durch Hrn. Jos. Bramah gehoben, der den Hahn so einrichtete, daß er sich beständig in derselben Richtung umdrehte, durch eine geringe Veränderung des Knopfs, der auf seinen Hebel p wirkte, und der ihn ein Viertel bei jedem Zug herumtrieb. Dieß, wird man bei Ansicht der Figur finden, muß dieselbe Wirkung hervorbringen, als wenn er rück- und vorwärts bewegt wird, aber mit dem Vortheil, daß er an allen Stellen gleichmäßig abgenutzt wird.

Nach dieser Beschreibung der verschiedenen Theile einer doppeltwirkenden Dampfmaschine in ihren besondern Zuständen ist es bloß nöthig, ihre Benennungen im Bezug auf die Titelplatte XIV. zu wiederholen, die eine allgemeine Ansicht einer vollständigen Maschine dieser Art ist,

wie sie jetzt sehr häufig deßhalb gemacht werden, um sie völlig unabhängig und unverbunden mit den Gebäuden, worin sie angebracht werden, zu machen: a a ist ein langer schmaler Kasten, der aus zusammengeschraubten Gußeisenplatten gebildet wird, so daß er eine Unterlage oder ein Gestell für die ganze Maschine bildet. Ein Theil dieses Fußgestells ist mit einem dichten Boden versehen, wie von b nach b, und einer aufrechten Scheidewand in c, so daß dadurch der Theil a b b c in die Kaltwassercisterne verwandelt wird. Unmittelbar über dieser Cisterne ist der Dampfcylinder d befestigt, und gerade unter ihm der Verdichter e, und die Luftpumpe f: g g sind die Seitenröhren, die den Dampf aus der Dampfröhre h erhalten, die aus dem Kessel A kömmt, und dieser ist mit allen den verschiedenen Vorrichtungen versehen, die in Fig. 117 dargestellt sind: i i i sind Säulen von Gußeisen, wovon vier an die Ecken der Basis gesetzt sind, um sie zu verstärken, und zwei in die Mitte. Sie tragen die Gebälkplatten oder Federbalken k k, worauf der Maschinenbalken l l liegt, und an welchen die Radiusstangen der Parallelbewegung m befestigt sind; n ist die Stämpelstange des Dampfcylinders, und o die der Luftpumpe, die in diesem Falle auch als Zapfenbaum wirkt, indem sie die beiden Zapfen p p führt, die auf den Hebel r wirken, um den Dampf zuzulassen oder abzuschließen. Die Heißwassercisterne ist in q angegeben, wo s die Heißwasserpumpe und v die Stange ist, mittelst deren sie durch den Hauptbalken bethätigt wird; u ist die auf ähnliche Weise bethätigte Kaltwasserpumpe: B das Schwungrad, dessen Schaft oder Welle auf dem Rande der Basis a a liegt, wobei sein Knie innerhalb wirkt, und durch die Verbindungsstange C mit dem Ende des Balkens verbunden ist: w w ist der Leker, der durch das Seil x x bethätigt wird, und auf das

Drosselventil x mittelst der Stangen 2 2 wirkt; y ist der Griff und die Zeigerplatte des Injectionshahns, und z der Barometer des Condensators, der an einer der eisernen Säulen befestigt ist. Die Theile des Kessels brauchen kaum wieder nachgewiesen zu werden, indeß ist 3 das Mannsloch, 4 die Versorgungsröhre, 5 der Feuerheerd, 6 6 der Rauchfang, 7 einer der Visirhähne, und 8 der Dampfverdichtungsmesser.

Ein jeder, der die Beschaffenheit der Watt'schen Verbesserungen der Dampfmaschine erwägt, wird finden, daß sie mancherlei Formen und Anwendungen fähig sind: und wirklich erhielt ein Hr. Jonathan Hornblower im Jahr 1781 (einige Zeit vor Watt's letztem Patent für die Anwendung der elastischen Kraft des Dampfs), ein Patent für einen höchst sinnreichen Proceß, wiewohl er, wahrscheinlich ohne sein Wissen, bereits von Dr. Falck vorher beschrieben war. Hornblower's Plan war, zwei Dampfcylinder und Stämpel statt eines anzuwenden, obgleich keine Dampfvermehrung erforderlich war; denn die Cylinder waren durch Röhren mit Hähnen oder Klappen mit einander verbunden, auf eine ähnliche Weise, wie sie in Fig. 136, Taf. XIII. angegeben ist, wo a b der gewöhnliche Cylinder einer Doppelmaschine ist, der beschriebenermaßen durch die Röhre c mit Dampf versehen wird, welche Röhre zwei Hähne d und e besitzt, oder eine andere von den obgenannten Vorrichtungen, um den Dampf gehörig zu richten und zu vertheilen. In dieser Figur sind Hähne gebraucht, da sie die einfachsten sind, und aus demselben Grunde ist nichts vorgerichtet, um sie durch Maschinerie zu den gehörigen Zeitpuncten zu drehen, sondern man muß annehmen, daß sie mit der Hand geöffnet und geschlossen werden. Auch gehen Röhren f und g aus dem Ober- und Untertheil des Cylinders wegen des Entweichens

des Dampfs; allein statt zum Condensator zu gehen, wie in den obbeschriebenen Maschinen, führen sie in die umgekehrten Theile eines andern Dampfcylinders, d. h. die Röhre f aus dem Obertheil des ersten Cylinders führt in den Untertheil h des zweiten, während die Röhre g den untersten Theil des ersten Cylinders mit dem obersten Theile des zweiten verbindet. Dieser zweite Dampfcylinder ist länger, und überhaupt von größerm kub. Inhalt als der erste, und aus seinem Ober = und Untertheile gehen die Röhren k und l aus, und endigen in den Condensator m, wie in den andern Maschinen. Alle diese verschiedenen Röhren haben Hähne oder Ventile, wodurch man sie nach Gefallen öffnen oder schließen kann. Um diese Maschine zu bethätigen, müssen alle Hähne oder Ventile auf einmal geöffnet seyn, um durchzublasen, oder alle Theile der Maschine mit Dampf zu füllen, worauf der Dampfhahn d, und die Hähne in den Röhren g und l in demselben Augenblick verschlossen werden müssen, und der Injectionshahn des Verdichters geöffnet wird. Der Dampf tritt dann in b, und beginnt den ersten Stämpel n zu heben, indeß der schon in a vorhandene Dampf durch die Röhre f nach h geht, und folglich seine noch übrige Elasticität anwendet, den zweiten Stämpel o zu heben, über dem sich ein leerer Raum durch die Verbindung mit dem Verdichter m durch die Röhre k gebildet hat; und da beide Stämpel mit demselben Ende des Balkens verbunden sind, so wirkt natürlich die von ihnen erzeugte Kraft zu gleicher Zeit und in gleicher Richtung. Wenn die Stämpel die Höhe ihres Zuges erreicht haben, muß der Hahn e geschlossen werden, zusammt den Hähnen in den Röhren f und k, und alle die übrigen geöffnet, da denn ihre vorige Wirkung umgekehrt wird; denn jetzt tritt Dampf in a, um den Stämpel n niederzudrücken, und der bereits in b

vorhandene wendet seine Elasticität an, und geht durch die Röhre g in i, um den Stämpel o niederzudrücken, indeß ein Vacuum in h durch die Oeffnung der Röhre l gebildet wird. Die Stämpel gehen also gleichzeitig hinunter, und durch diese Vorrichtung hoffte Hr. Hornblower große practische Vortheile erreicht zu haben, worin er durch die mathematischen Untersuchungen des Dr. Robison bestärkt wurde, welcher berechnete, daß diese Maschine eine größere Kraft wie die Watt'sche haben würde, im Verhältniß wie 853 zu 833. Allein es ergab sich, daß die genaue Kraftberechnung in diesem Falle nicht mit dem practischen Resultat in Uebereinstimmung gebracht werden konnte, denn nach einer sehr genauen Prüfung dieser Maschine, deren mehrere im Großen gebaut waren, fand man, daß die Reibung von zwei Stämpeln, und die starke Vermehrung der Oberfläche, die der Kälte ausgesetzt war, den Vortheil dieser Dampfanwendung weit überwogen, wenigstens in der Art, wie sie damals geschah; denn nachher hat man befunden, daß sehr heißer und sehr elastischer Dampf mit beträchtlichem Vortheil auf diese Weise gebraucht werden kann.

Hornblower's Maschine war indeß ohne den Condensator, den verschlossenen Cylinder und andere Verbesserungen unwirksam, die Hrn. Watt durch sein vorheriges Patent zugesichert waren, so daß sie als ein directer Eingriff in dasselbe nach richterlicher Untersuchung erklärt wurde; so sah sich Hornblower zu der Nothwendigkeit gebracht, zu der alten Weise, den Dampf in dem großen Cylinder zu verdichten, seine Zuflucht zu nehmen, und dadurch gingen die Vortheile, die er sonst erreicht haben dürfte, ganz verloren, und seine Erfindung ward nutzlos und unwirksam.

Wiewohl Watt die Anwendung des Dampfs statt des Luftdrucks benutzte, so beschränkte er doch bei allen seinen mancherlei Einrichtungen die elastische Kraft desselben auf eine Stärke, die sehr wenig die der Luft übertraf, und wobei sie mit vollkommener Sicherheit wirken kann. Allein die frühern Versuche, die bei Maschinen gemacht waren, überzeugten die Baumeister, daß Kessel gemacht werden könnten, die einem sehr beträchtlichen Drucke widerständen; und wenn solche starke und auffallende Wirkungen durch einen schwachen Dampf entständen, was könnte man nicht erwarten, wenn seine Kraft angehäuft wäre? Dieß führte zu der Anlage von sogenannten Hochdrückenden Maschinen, oder solchen, bei denen der Dampf durch vermehrte Hitze und Einschließung in seiner elastischen Kraft verstärkt wird, so daß er den Druck der Atmosphäre weit übertrifft. Die Wirkungsart einer solchen Maschine bedarf nur weniger Erklärung, denn da Dampf bei 212° der Atmosphäre das Gleichgewicht hält, oder in freier Luft unwirksam erscheint, aber bei einem leeren Raume einen Stämpel mit einer Kraft von 14—15 Pfund auf den Quadratzoll bewegt, so wird, wenn dieser Dampf in seiner Kraft verdoppelt, oder zu 30 Pfund auf den Zoll gebracht wird, indem man ihn nämlich zu 245 Grad erhitzt, er dieselbe Kraft gegen einen Stämpel ausüben, der sich in der Luft bewegt, wie der vorige Dampf gegen ein Vacuum that; mithin kann durch Verstärkung der Kraft des Dampfs die Einrichtung der Maschine äußerst vereinfacht werden; denn der Verdichter und seine Cisterne, die Luftpumpe, die Kaltwasserpumpe, und alle die Theile, die zur Bildung des Vacuums bestimmt sind, können ganz entübrigt, und viel Reibung erspart werden. Dieß ist von größter Wichtigkeit an Orten, wo die nöthige Menge kaltes Wasser zur Dampfverdichtung schwer

herbeizuschaffen ist, und dieß ist in vielen Fällen ein gänzliches Hinderniß gewesen, da eine Maschine anzubringen, wo sie äußerst nützlich gewesen seyn könnte.

Die erste Anwendung des stark verdichteten Dampfs zur Bewegung der Stämpel scheint in Leopold's Theatrum Machinarum, 1724, erwähnt zu seyn, und wird dem Dr. Papin zugeschrieben; aber es scheint nicht, daß sie mit Erfolg ausgeführt sey, bis auf Richard Trevethic zu Camborne in Cornwall, der in Verbindung mit einem Hrn. Vivian an demselben Orte im Jahr 1802 ein Patent erhielt für eine Maschinenform, die im Kleinen viel angewandt und gut befunden ist, und unter dem Namen Trevethic's Maschine allgemein bekannt ist.

Sie ist in ihrer Einrichtung der von Savery und Papin so sehr ähnlich (vergl. Fig. 115. Taf. XI.), daß nur sehr wenig Erfindungsgeist nöthig ist, eine in die andere zu verwandeln, und besonders die des letzten mit einem cylindrischen Dampfgefäß in eine solche Maschine; denn wir haben bloß anzunehmen, daß das bereits erwähnte runde Stück Holz, was auf dem Wasser in diesem Gefäß schwimmt (S. 301) ein dampfdichter Stämpel sey, der mit einer Kolbenstange versehen ist, die aus dem Gefäße herausgeht, und die Maschine ist fertig; denn die Kraft, die dort als wirkend beschrieben wurde, das Wasser niederzudrücken, drückt jetzt den Stämpel nieder, dessen Kraft zu einem andern Behuf verwandt werden kann. Trevethic's Erfindung geht aber viel weiter und begreift einen ganzen Maschinenbau, worin große Einfachheit beibehalten, und beträchtliche Kunst angebracht ist. Seine Hauptabsicht, wie in seinem Patent erklärt wurde, war, eine so zusammengedrängte, tragbare und freie Maschine zu machen, die gebraucht werden könnte, Fuhrwerke auf Gleisrinnenwegen zu bewegen. Diesen großen Plan war

er in den Stand gesetzt auszuführen, und es kann keinen größern Beweis für die Vollkommenheit desselben geben, als daß er seit dem Jahr 1812 zum Transport der Kohlen aus verschiedenen Gruben bei Leeds, Wigan und Newcaste upon Tyne mit Erfolg ausgeführt ist. Eine Ortsveränderungsmaschine dieser Art hat, wie man weiß, 30 Wagen mit Kohlen gezogen, wovon jeder 3 Tonnen wog, und zwar auf Eisengleiswegen binnen einer Stunde $3\frac{1}{2}$ E. Meile weit; und der Freude, womit diese tragbaren Maschinen in den Bergwerksdistricten von Peru in Südamerika aufgenommen wurden, wo wegen der gebirgigen Beschaffenheit des Landes, der schlechten Wege und des Wassermangels jeder Versuch, andere Dampfmaschinen anzubringen, mißglückt war, findet man in einem kurzen, aber interessanten Briefe erwähnt, der im ersten Bande der Transactions of the Royal Geological Society of Cornwall enthalten ist.

Die allgemeine äußere Ansicht von Trevethic's Maschine in ihrer vollständigen wirksamen Beschaffenheit in feststehender Stellung ist in Fig. 137. Taf. XIII. abgebildet. Zum Behuf der Ortsveränderung ist die Einrichtung dieselbe, nur daß sie auf vier Rädern liegt, deren eins das Schwungrad in der Abbildung ist. Der Kessel dieser Maschine ist vielleicht einer der besten, der zur Ersparung der Feuerung erdacht werden kann, wiewohl unglücklicherweise er sich nicht bedeutend groß machen läßt, ohne dadurch seine Sicherheit einigermaßen zu vermindern. Sie besteht aus einer Gußeisenröhre, oder einem Cylinder p r, der selten mehr als drei oder vier Fuß im Durchmesser hat, und neun bis zwölf Fuß lang ist, je nach der Größe der Maschine, er kann jedoch auch viel kleiner seyn. Ist er groß, so muß er natürlich aus mehrern Ringen oder Stücken gemacht seyn, die fest zusammenge-

bolzt und mit Eisenkitt *) verkittet werden, damit sie vollkommen luft- und dampfdicht seyen. Das Ende zunächst p ist gußfest, aber das andere ist durch die runde Scheibe r verschlossen, während der ganze Kessel auf vier Beinen oder Säulen s s t t auf einem Block von Backstein- oder anderm Gemäuer ruht. Das Feuer wird in einer Röhre von Schweißeisen, die die Form eines Hebers hat, gemacht, dessen zwei Schenkel horizontal in dem großen Cylinder p r liegen, und dieser Heber ist an seinen beiden Enden

*) Eisenkitt wird aus den Bohrspähnen von Gußeisenröhren, oder den Drehspähnen von Gußeisen gemacht, die bis zum Gebrauch rein und nicht rostig seyn müssen. Durch gewöhnliches Stoßen oder Reiben werden sie zerbrochen, aber nicht pulverisirt, und dann gröblich gesiebt. Bei'm Gebrauch werden sie mit gepülvertem Salmiak und Schwefel gemischt, und leicht mit Wasser angefeuchtet, da denn die Composition mittelst eines stumpfen Meisels und Hammers in die Fugen getrieben oder gestoßen werden muß, und die Fuge muß dann durch ihre Bolzen so dicht wie möglich zusammengeschraubt werden. Man muß nicht mehr von diesem Kitt machen, als man auf einmal gebraucht, weil er bald verdirbt; ist er gut, so wird er in ein paar Tagen so hart, wie das Eisen selbst. Zwei Unzen Salmiak und eine Unze Schwefel reichen für fünf Pfund Eisenbohrspähne aus. Für einige Fälle macht der Zusatz von einem Pfund Schleifsteinmehl eine Verbesserung der Composition. Dieser Kitt wird nur bei Fugen gebraucht, die nachher nicht mehr geöffnet werden. Die man wieder öffnet, werden gemeinlich mit Flanell und Bleiweiß in Oel angerieben, oder mit dem Material, was man Gaskit nennt, gestopft, welches letztere eine Partie locker gesponnenes Hanfgarn ist, was man in eine platte Flechte zusammenwickelt, die so groß ist, wie die Fuge. Bei'm Gebrauch wird dieß mit Bleiweiß wohl eingeschmiert, wozu eine zureichende Menge Mennig, des Austrocknens wegen, gesetzt ist. Die Deckelfugen der Dampfcylinder werden auf diese Art zugemacht.

mit der Vorderplatte r verbunden; an einem Ende ist er so groß, daß er die Ofenthür und das Aschenloch v sammt den Stäben, worauf das Feuer innerhalb der Thür gemacht wird, einschließt, aber sein anderes Ende verengt sich in die eiserne Rauchröhre w w, die hoch genug gehen muß, um hinlänglichen Zug für das Feuer zu machen. Der große Cylinder wird bis über die Oberfläche der heberförmigen Feuerröhre mit Wasser gefüllt, und x x sind Visirhähne, die an verschiedenen Höhen angebracht werden, um den Wasserstand auszumitteln. Alle Hitze also, die aus dem Feuer kömmt, oder unten aus der heißen Asche, muß sich dem Wasser mittheilen, indeß der hervorgebrachte Dampf in dem Obertheil des großen Cylinders zurückgehalten wird. Ein Sicherheitsventil ist in z angebracht, und a b ist ein heberförmiger Queckſilberverdichtungsmesser mit einem schwimmenden Stabe, wie oben beschrieben ist, oder mit einer Schnur, die über eine Rolle geht, und einem Gegengewicht, weil der Verdichtungsmesser in diesem Falle 60 oder 70 Zoll lang seyn muß, weil es zuweilen nöthig ist, daß der Dampf mit so viel Pfunden auf jeden Quadratzoll drücke. Alle Theile des Dampfcylinders sind bei dieser Maschine versteckt, außer sein Obertheil c, weil der ganze Cylinder in heißes Wasser und Dampf eingetaucht ist, indem er in c mittelst eines Kreuzes befestigt ist, während sein unterer Theil beinahe zum Boden des Kessels reicht. Auf diese Weise wird der Cylinder sehr wirksam bei derselben Hitze, wie das kochende Wasser erhalten: e ist die Stämpelstange, die statt mit dem Balken verbunden zu seyn, das T-Stück f f führt, was sich zwischen den Lenk- oder Richtstangen g g bewegt: h h ist das Schwungrad, dessen Welle i in gehörigen Büchsen von Messing geht, die in den zwei Beinen oder Stützen t t angebracht sind, wobei jedes ihrer Enden ein Knie k führt

(wovon man nur ein einziges in der Abbildung sehen kann), was mit dem T-Stück durch zwei Verbindungsstäbe l l verbunden ist. Wie sich der Stämpel auf- und niederbewegt, wird dem Schwungrade die Bewegung mitgetheilt, und durch dessen Welle jeder Maschinerie, die eine drehende Bewegung fodert; allein wenn senkrechte Wechselbewegung nöthig ist, wie bei'm Pumpen, so wird sie von dem T-Stück erhalten. Wegen der Kraft des Dampfs, die bei diesen Maschinen erforderlich ist, kann keine Versorgungsröhre für den Kessel angewandt werden, ohne sie von einer sehr unbequemen Höhe zu machen; daher wird der Kessel durch eine kleine Druckpumpe m mit Wasser versorgt, die durch einen mit einem der Verbindungsstäbe l verbundenen Hebel bethätigt wird, und dieß Wasser, statt unmittelbar in den Kessel zu kommen, wird in eine Röhre oder Behältniß n gebracht, das darauf befestigt ist, und sich in ihn durch die Röhre o öffnet, so daß das kalte Wasser bei seinem Durchgange durch die volle Länge dieser Röhre beträchtlich erhitzt wird, und die Dampfentwickelung nicht stört.

Bei diesen Maschinen wird der Dampf in dem Cylinder zu- und abgelassen durch einen Hahn mit vier Oeffnungen, wie ein solcher oben beschrieben ist. Dieser ist gerade noch im Kessel am Obertheil des Cylinders angebracht, und sein Griff wird in den gehörigen Zeitpuncten durch Zapfen gefaßt, die auf einer kleinen Stange oder Zapfenbaum P sitzen, der mit dem T-Stück verbunden ist, und sich damit bewegt; und da ein Drosselventil zwischen diesem Hahn und dem Kessel liegt, so kann die Schnelligkeit des Stämpels mit derselben Leichtigkeit und Gewißheit regulirt werden, wie in jeder andern Maschine. Der Unterschied in der Wirkung bei dieser und der Verdichtungsmaschine entspringt daraus, daß der Dampf weit

stärker ist, und statt gegen ein Vacuum, gegen den Druck der Atmosphäre wirkt; denn in dieser Maschine findet keine Verdichtung des Dampfes zu Wasser statt, auch könnte sie in der That, wegen der sehr vermehrten Hitze des hochdrückenden Dampfs, nicht mit hinlänglicher Geschwindigkeit bewirkt werden. Sobald also der Dampf seinen Dienst, den Stämpel zu bewegen, gethan hat, so wird er durch eine Bewegung des Hahns in die freie Luft gelassen, während der eben erst hineingelassene Dampf auf der andern Seite des Stämpels wirkt. Indem er in die freie Luft entweicht, wird er gemeinlich durch eine Röhre an der innern Seite der Kaltwasserröhre n o hingeleitet, um das Wasser mit erwärmen zu helfen, ehe es in den Kessel tritt.

Aus obiger Beschreibung wird man sehen, daß die Dampfmaschine mit hohem Druck eine weit einfachere, zusammengedrängtere und wohlfeilere Maschine ist, als die Verdichtungsmaschine, worin Dampf von geringerer Kraft in Verbindung mit einem Vacuum gebraucht wird, und der einzige gegründete Einwurf gegen ihre allgemeine Einführung und Gebrauch ist die Gefahr, die mit dem Springen des Kessels verbunden ist, was, wenn es geschieht, die schrecklichsten Folgen haben kann. Indeß kann man nicht zweifeln, daß man binnen Kurzem schickliche Materialien wählen, und solche Einrichtungen treffen wird, wodurch der Gebrauch des starken Dampfs so sicher werden wird, als der des schwächern; und da es sehr klar bewiesen ist, daß die Zunahme an Kraft in dem Dampfe größer ist, als diejenige in der Feuerung, um diese Kraft hervorzubringen, so müssen natürlich die Unkosten der Bethätigung solcher Maschinen verhältnißmäßig geringer seyn. Wenn Unfälle bei Kesseln stattgefunden haben, so kann man sie fast in allen Fällen auf schlechte Arbeit und Zu-

thaten, oder auf unverständige Wahl, Anwendung, Verbindung oder Form derselben schreiben. So wissen die, welche mit dem Wesen der Gießerei bekannt sind, daß es fast unmöglich ist, ein sehr großes hohles Gefäß in einem Stücke zu gießen, bei dem man vergewissert ist, daß es gleichmäßig dick, stark und dicht in jedem Theile sey; gemachte Versuche dieser Art sind fehlgeschlagen; wiewohl man sich auf kleinere Gefäße von gehöriger Form zuversichtlich verlassen konnte. Eine platte Oberfläche ist eine der unzweckmäßigsten, um einer großen Kraft zu widerstehen, und dennoch war dieß die Form des Gußeisens, was am Ende des cylindrischen Kessels von Schmiedeeisen auf dem Norwicher Dampfboot angebracht war; dieß veranlaßte ohne Zweifel den obenerwähnten Unfall. Allein ein Cylindergefäß mit halbkugeligten Enden, oder eine Kugel widersteht einer großen Kraft sicherer. Dieß ist der Grund, warum Trevethic's Maschinen nicht zu sehr im Großen anzurathen sind, weil die Oberfläche des Kessels zunimmt wie die Quadrate seiner Dimensionen. Wenn also ein Kessel von 2 Fuß Durchmesser und 3 Fuß Länge 3000 Zoll Oberfläche darbietet, und Dampf von 40 Pfund Expansivkraft für den Zoll enthält, so ist die Totalkraft, die sich bestrebt, den Kessel zu sprengen, 120,000 Pfund. Nimmt man an, daß der Dampf an Kraft noch immer derselbe sey, aber daß er in einem Kessel wirke, der doppelt so lang und breit ist, so wird seine Kraft zu 480,000 Pfd. verstärkt, weil die Oberfläche vier Mal vermehrt wird, wobei wegen der größern Dimensionen der Theile sie weniger im Stande sind, einander zu halten und zu unterstützen. Kessel zu Hochdruckmaschinen sollten also, wenn sie groß sind, aus kleinen Theilen zusammengesetzt, und wirksam und kunstgemäß vereinigt werden, und man sollte die zähesten Materialien dazu nehmen, als dicke Platten

von geschlagenem Eisen oder Kupfer, die, wenn sie losgehen, bloß aufreißen oder ein Loch geben, indeß Gußeisen wegen seiner Sprödigkeit bei'm Springen in allen Richtungen umherfliegt. Auch sollte man gehörig darauf achten, daß solche Zuthaten zusammengesetzt werden, die sich bei einerlei Temperatur gleichmäßig ausdehnen und zusammenziehen, denn die Vollkommenheit und Dauerhaftigkeit einer Fuge hängt sehr von diesem Umstande ab. Und man sollte sich auf keinen Kessel von irgend einer Art verlassen, bis er durch Injection von kaltem Wasser mittelst einer Druckpumpe nach Art der Bramah'schen Presse (S. 173) geprüft ist, ob er im Stande sey, wenigstens zwei Mal, wo nicht drei Mal der Kraft des Dampfs, der in ihm hervorgebracht werden soll, zu widerstehen, was man dadurch ausmitteln kann, daß man entweder sein Sicherungsventil beschwert, oder den Queckſilberverdichtungsmesser gebraucht.

Trevethic's Hochdruckmaschine war eine beträchtliche Zeit die einzige, die man anwandte, allein 1804 erhielt Mr. Arthur Woolf, ein geschickter Maschinenbaumeister in Cornwall, ein Patent für eine neue Maschine, die er aber erst 1810 zur Vollkommenheit brachte, da die Verbesserungen und Veränderungen, die er daran gemacht hatte, so groß waren, daß er um ein neues Patent nachsuchen mußte. Die Vollkommenheit dieser Maschine, wie sie von Woolf beschrieben ist, liegt aber nicht sowohl in einer Verbesserung der Construction, als vielmehr in einer neuen Eigenschaft, die er am Dampf entdeckt zu haben behauptet, und wodurch er in den Stand gesetzt wurde, ihn auf eine neue Weise anzuwenden. Seine Maschine ist in der That genau die von Hornblower (Fig. 136) mit so geringen Veränderungen, daß es unnö-

thig ist, sie besonders abzubilden; und obgleich diese Maschine unwirksam war, wenn sie mit mäßigem Dampfe gebraucht wurde, und besonders so lange das Patent von Watt und Boulton dauerte, was die Anwendung ihrer Condensationsweise untersagte, so ist sie doch nachher in den Händen von Woolf sehr wichtig geworden. Es ist vorhin bemerkt, daß Watt's und Boulton's letzte Verbesserung aus ihrer Entdeckung der Elasticität des Dampfs und folglich seiner Ausdehnbarkeit, so daß er in einem Cylinder, den er nicht ganz füllt, wirkt, entstand. Woolf führte dieß Princip viel weiter, und nimmt eine Entdeckung in Anspruch, die er zu beweisen sucht, daß nämlich, mit was auch für einer Pfundzahl der Dampf im Stande seyn möchte, auf den Quadratzoll zu drücken, er so viel Mal sich ausdehnen, und dennoch dem atmosphärischen Drucke gleich bleiben würde, vorausgesetzt, daß seine erste Temperatur dieselbe bliebe. In andern Worten, wenn Dampf stark genug ist, den Verdichtungsmesser eines Kessels 6 Zoll zu heben, oder ein Sicherungsventil, was mit 6 Pfund auf den Quadratzoll beschwert ist, gegen den Druck der Atmosphäre zu öffnen, so kann derselbe Dampf in ein anderes Gefäß gelassen werden, was sechs Mal so groß als das erste ist, und noch immer wird er dem Dampfe von Einer Atmosphäre oder 212° gleich seyn, so lange als seine erste Wärme fortdauert. Wenn man für ausgemacht annimmt, daß dieß Gesetz bei'm Dampfe Stand hält, so leuchtet seine vortheilhafte Wirkung in einem Doppelcylinder sogleich ein, und dieß ist die Dampfmaschine von Woolf. Er schlug vor, Dampf von etwa 40 Pfd. Kraft auf den Quadratzoll anzuwenden, und dieser müßte durch die Röhre c, Fig. 136, Taf. XIII. in den Cylinder a b gelassen werden, ganz wie oben bei Hornblower's Maschine angegeben ist, die nur zu

diesem Behuf dadurch verändert war, daß der zweite Cylinder viel größer als der erste gemacht wurde. Denn wenn Dampf von 40 Pfund im Stande war, sein Volum 40 Mal zu vergrößern, und doch noch dem Drucke der Atmosphäre gleich blieb, so mußte natürlich, wenn der zweite Cylinder 40 Mal so groß war, als der erste, der Dampf, wenn er in ihn gebracht ward, noch immer Dampf gleich 1 Atmosphäre seyn. Eine Verdichtungsmaschine erfordert aber Dampf von etwa 4 Pfund mehr als die atmosphärische Kraft auf den Zoll; mithin, wenn der zweite Cylinder nicht ganz 40 Mal so groß als der erste ist, wird der Zweck vollkommen erreicht; denn der Dampf wirkt bei seinem ersten Eintritt mit einer Kraft von 40 Pfd. auf den ersten Stämpel n, um ihn zu heben, und wird hernach über den zweiten Stämpel o gelassen, um ihn in das in h gebildete Vacuum, mittelst des gewöhnlichen Condensationsprocesses, niederzudrücken; während zu gleicher Zeit eine neue Quantität von 40pfündigem Dampf über den ersten Stämpel n eingelassen ist, um der Operation zu Hülfe zu kommen. Diese Maschine besteht also aus einer Hochdruck- und Verdichtungsmaschine, die so verbunden sind, daß sie mit einer einzigen gemeinschaftlichen Menge Dampf wirken, die auf zwei Stämpel, die sich in einerlei Richtung zu gleicher Zeit bewegen, und so ihre Kraft vereinigen, in Wirksamkeit tritt.

Der Balken, das Schwungrad, der Oeffnungs- und Schließapparat und verschiedene andere Theile einer Maschine, wie sie vorhin beschrieben sind, werden bei dieser, wie bei allen übrigen Dampfmaschinen, angewandt, so daß nichts weiter über sie gesagt zu werden braucht. Allein Woolf war mit dem Wesen des starken Dampfs zu sehr bekannt, um ihn in einem der großen Kessel, die gewöhnlich zu diesem Behuf gebraucht werden, zu entwickeln zu suchen, und er-

fand also einen eigenen Kessel, der einen Theil seiner patentirten Erfindung ausmachte. Bei diesem, der ganz aus Gußeisen gemacht ist, bringt er sehr zweckmäßig Formen in Anwendung, die die größte Stärke in ihrer Construction gestatten, wobei die Theile jedoch einzeln keine große Fläche der Wirkung des Dampfs darbieten. Sein Kessel besteht aus mehrern starken Röhren von etwa 10 Zoll im Durchmesser und der ganzen Länge des Feuerheerds. Sie liegen parallel an einander in einer sanft abhängigen Richtung etwas weniges vom Feuer entfernt, und ihre obern Enden öffnen sich alle in die untere Seite eines großen Cylinders, der über ihnen so in Backsteine eingemauert ist, daß sein Untertheil auch dem Feuer ausgesetzt ist. Durch Fig. 138 kann man sich eine Vorstellung von dieser Einrichtung machen, die eine perspectivische Ansicht der eisernen Gefäße eines dieser Kessel ist, ohne das Backsteingemäuer, worein sie gesetzt und befestigt sind. a a a sind die schrägen Röhren, die unmittelbar über b b dem Feuerrost liegen, und c c ist der große Cylinder, in welchen die untern Röhren treten. Dieser große Cylinder ist etwa halb mit Wasser gefüllt, was folglich in alle Röhren niederläuft, und hierin, sowohl als in dem obern Cylinder, wird das Wasser gekocht: d ist das Mannsloch, um den Kessel zu reinigen oder zu untersuchen, e die Dampfröhre, um den Dampf zu den Cylindern zu führen, und f die beschwerte Sicherheitsklappe. So wie der Dampf in den untern Röhren erzeugt wird, steigt er hinauf in den großen Cylinder durch das darin enthaltene Wasser, und wird darüber zurückgehalten, bis ihn die Maschine nöthig hat. Bei'm Schließen der Oberenden dieser Röhren, und bei ihrer Verbindung mit dem großen Cylinder, so wie in manchen andern Theilen der Maschine wendet Woolf eine Art von Balkenbandverbindung ohne Schraubenbolzen

an, die sehr einfach, wohlfeil und gegen hochdrückenden Dampf wirksam ist, denn sie ist so eingerichtet, daß, wenn die Theile einmal zusammengesetzt sind, sie durchaus nicht ohne vorgängige Zerbrechung getrennt werden können. Die Methode, die Woolf wählte, die gehörige Temperatur des Dampfs in seinen Cylindern zu bestimmen, war die, ihre Mäntel oder Bekleidungen zu Durchgängen zu machen, wodurch der Dampf in sie gebracht wurde, denn er ging aus dem Kessel in die Bekleidung, und von da in das Innere der Cylinder, die dadurch jederzeit so heiß gehalten wurden, als der Dampf, der in sie treten sollte. Im Ganzen sieht man also, daß keine Mühe von dem geschickten Erfinder gespart ist, um diese Maschine so vollkommen und sicher zu machen, als es sich mit der Natur des Hochdruckdampfs verträgt. Die von Woolf als seine Entdeckung in Anspruch genommene Uebereinstimmung zwischen der genauen Kraft des Dampfs und seiner Expansion wurde von Allen als außerordentlich angesehen, aber neuere und genauere Versuche zeigen, daß sie nicht in dem Grade vorhanden ist, wie man zuerst glaubte: folglich ward die Ungleichheit in der Größe der beiden Cylinder weit geringer befunden, als man anfangs hoffte und erwartete. Der große Cylinder wird indeß fünf bis acht Mal so groß gemacht wie der kleinere, und in diesem Verhältniß scheint die Woolf'sche Maschine am stärksten zu wirken, und dabei verursacht sie vor allen, die bis jetzt bekannt sind, den geringsten Kohlenverbrauch. Sie ist hauptsächlich in den Grubendistricten von Cornwall angewandt, wo vielleicht sich eine bessere Gelegenheit, ihre Vorzüge zu prüfen, gefunden hat, als sonst wo, nicht nur weil man wegen der großen Tiefe der Gruben die Beschaffenheit der Maschinen so oft mit einander verglichen hat, sondern wegen der zuversichtlichen und furchtlosen Weise, wie

man daselbst den Hochdruckdampf betrachtet; denn wäre sie Unfällen ausgesetzt gewesen, so müßten sie dort häufig stattgefunden haben.

Trotz der Gründe, die man zu Gunsten der hochdrükkenden Dampfmaschinen anführen kann, kann der Verfasser nicht umhin zu erklären, daß man sie in keinem Falle anwenden sollte, wo man statt ihrer eine leichtdrückende oder Verdichtungsmaschine anbringen kann. Die Ersparung von einer kleinen Quantität Feuerung mag in vielen Fällen ein Gegenstand von großer Wichtigkeit seyn; allein wo dieß nicht wirklich der Fall ist, da kann man dieß keineswegs mit dem Leben der Arbeiter in Vergleich setzen, die beständig um und neben der Maschine, und also nie außer Gefahr sind. Es ist wahr, daß nicht sehr oft Unfälle stattfinden, und man kann anführen, daß der Kessel der leichtdrückenden Maschine, der schwächer gebaut ist, mehr Unfällen durch Unaufmerksamkeit auf das Feuer unterworfen sey, als der, der mit eigentlicher Berücksichtigung der Stärke gemacht ist. In wie weit dieß der Fall ist, braucht nach der von dem Kessel der leichtdrückenden Maschine gegebenen Beschreibung nicht angeführt zu werden. Aber zugegeben, ein Kessel sey so sicher wie der andere, so giebt doch die Wirkung der Explosion den Ausschlag, denn wenn das Platzen eines Kessels der leichtdrükkenden Maschine sich kaum mit seiner Wirkung über den Raum, der sie enthält, erstreckt, so verbreitet das des hochdrückenden Maschinenkessels Verderben nach allen Seiten umher, wovon leider nur zu viele Beispiele erinnerlich sind. Man kömmt indeß täglich weiter, und bei fernerer und besserer Erfahrung kann sie endlich sicher und gemeinnützig werden, allein in ihrem jetzigen Zustande der Kindheit sollte sie von bevölkerten Orten entfernt bleiben, und nur da im Nothfall angewandt werden, wo ihre Explosion nicht viel

Unheil stiften kann. In Amerika ist der Gebrauch des hochdrückenden Dampfs weit allgemeiner gewesen, als er in England geworden ist, und dort ist es durchaus nichts Seltenes zu hören, daß Dampf von 100 Pfd. und darüber auf den Quadratzoll angewandt wird.

Ehe wir die Dampfmaschine verlassen, müssen einige Bemerkungen über die Versuche gemacht werden, die man gemacht hat, sie dadurch zu verbessern, daß man den Balken wegließ, und eine Cirkel- oder Radbewegung unmittelbar durch die Wirkung des Dampfs ohne Dazwischenkunft eines Kniees erhielt. Solch eine Einrichtung ist unstreitig für die Mechanik sehr wünschenswerth, weil die Trägheit des schweren Balkens und Stämpels, so wie die Reibung, die sie nebst ihrem Zubehör hervorbringen, bei jedem Zuge besiegt werden müssen, und nicht nur die Kraft der Maschine sehr schwächen, sondern die Kosten ihrer Einrichtung vermehren. Alle Versuche, die bis jetzt gemacht sind, diesen erwünschten Zweck zu erreichen, haben sich indeß in so weit unwirksam bewiesen, mindestens sind sie mit solchen practischen Schwierigkeiten verbunden gewesen, daß ihre Verwirklichung im Allgemeinen aufgegeben ist; denn die damit verbundene Reibung, so wie die Schwierigkeit, das Stämpelfutter im dampfdichten Zustande zu erhalten, ist so groß gewesen, daß jeder gehoffte Vortheil mehr als überwogen wurde. Die Schwierigkeiten bei einer solchen Maschineneinrichtung sind in der That so groß, daß sie wenig Hoffnung übrig lassen, sie jemals zu dem Zustande von Vollkommenheit zu bringen, der sie der Maschine in ihrer wechselwirkenden Form gleich macht, geschweige diese übertrifft.

Die meisten Maschinen, die man nach dieser Einrichtung vorgeschlagen hat, bestehen aus Fahnen oder Flügeln von Metall, die an einer Mittelaxe oder Welle festsitzen,

welche sich in dem Innern eines genau gebohrten Cylinders oder Trommel umwälzt, eben so, wie bei der Pumpe in Fig. 102, Taf. IX. Bei dieser würde, wenn Dampf in einer entgegengesetzten Richtung gegen den Fluß des Wassers oder in die obere Röhre f gelassen würde, er in den Cylinder a d treten und die Mitteltrommel b umtreiben, bis er Gelegenheit hätte, durch die untere Röhre e zu entweichen; und ehe dieß einträte, wäre ein anderer Flügel in der Lage, dem Dampf Widerstand zu leisten, wodurch eine anhaltende Bewegung ohne Condensation hervorgebracht, und folglich eine Hochdruckmaschine dargestellt würde. Fast ganz dasselbe Princip mit geringen Abänderungen wurde oft gebraucht, um an einer Seite des Flügels ein Vacuum durch Verdichtung hervorzubringen, während der Dampf auf die entgegengesetzte Seite wirkt, wodurch also eine leichtdrückende oder Verdichtungsmaschine hervorgebracht wird. Allein die große practische Schwierigkeit bei diesen Maschinen (denn sie nähern sich alle mehr oder weniger dem angeführten Beispiele) ist, das Stämpelfutter frei vom Abreiben zu halten, während es vor den Oeffnungen der Röhren, die in und aus dem Cylinder führen, vorbeigeht, und auch die Seiten der Flügel zu füttern, so daß sie dampfdicht bleiben, ohne eine so bedeutende Reibung zu verursachen, daß ihre gehörige Wirkung geschmälert wird. Nachdem Watt, Hornblower und mehrere Andere viele Versuche gemacht hatten, die unwirksam ausfielen, um diese Maschine zu vervollkommnen, waren sie gezwungen, die Sache aufzugeben. Eine andere Methode, unmittelbare Radbewegung durch Dampf hervorzubringen, ist die, ein sehr großes hohles Rad mit einer hohlen Axe und Speichen für den Durchgang des Dampfs zu machen. Der Dampf wird an einem Ende der Welle hineingelassen, geht in einer der Speichen hinauf, und gelangt so in den

hohlen Kranz, der nach der Vorschrift des ersten Patentirten, Hrn. Onions zu Bristol, etwa halb mit Queckfilber oder Schnelloth gefüllt ist, das bei einer geringern Hitze, als der des kochenden Wassers schmilzt *): indeß in dem neuern Patent des Hrn. Masterman zu demselben Behufe gewöhnliches Wasser vorgeschlagen ist. Der Kranz des Rades hat innerhalb zwei Ventile an entgegengesetzten Seiten, aber mit einerlei Richtung der Oeffnung, und der Dampf, indem er zwischen einer Klappe und der Flüssigkeit eingelassen wird, macht, daß die Flüssigkeit steigt, und durch die nächste Klappe geht, so daß sie die eine Seite des Rades schwerer als die andere macht; folglich bewegt es sich zum Theil herum, wodurch die Hähne oder Ventile, die die Richtung des Dampfs reguliren, bewegt und verändert werden, und der bereits im Rade befindliche Dampf durch eine andere Speiche, und durch das Ende der hohlen Welle, das dem gegenüber liegt, in welches der Dampf eintrat, entweichen kann, indeß in demselben Augenblick eine neue Quantität Dampf in die andere Hälfte des Kranzes gelassen wird, um das Aufsteigen der Flüssigkeit zu bewirken. Onions entdeckte eine merkwürdige Thatsache bei'm Gebrauch des Schnellloths in dieser Maschine, nämlich daß es, wie das Wasser, durch Erkalten und Crystallisiren, wenn es fest wurde, an cubischem Inhalt zunahm. Ward also das Metall nicht heiß erhalten, oder im flüssigen Zustande herausgelassen, so sprengte es die Röhren, worin es enthalten war. Die Maschine von Masterman ist umständlich beschrieben in

*) Schnelloth besteht aus 8 Theilen (an Gewicht) Wismuth, 5 Theilen Blei, 3 Theilen Zinn, und 1 Theile Queckfilber. Löffel, aus diesem Metall gegossen, schmelzen in einer sehr heißen Theetasse. Man kann es auch über einem Licht auf Schreibpapier schmelzen, ohne dieß zu verbrennen.

dem Repertory of Arts, Vol. XLI. p. 139, II, Series, und ist der von Onions so sehr ähnlich, daß hier eine besondere Beschreibung derselben unnöthig seyn würde. Man könnte viele andere Vorrichtungen, um Radbewegung hervorzubringen, anführen; so versuchte Hr. Sadler sie dadurch zu erhalten, daß er Dampf statt Wasser aus einer Barkerschen Mühle fließen ließ (Fig. 109.), und Donkin und Sir William Congreve, daß sie von der verkehrten Seite Dampf in die Fänge eines überschlächtigen Rades, was sich in heißem Wasser bewegte, trieben; aber da keine von diesen Vorrichtungen in allgemeinen Gebrauch gekommen, oder in Manufacturgeschäften angenommen ist, so kann man annehmen, daß sie nicht so gut ausgefallen sind, als die Maschinen, die in täglichem Gebrauch sind, und deßhalb halte ich's für unnöthig, weitläuftiger in ihre Beschreibung einzugehen, oder ihre Einrichtung durch Abbildungen zu erläutern. Ungeachtet der Länge, zu der die obige Abhandlung von der Dampfmaschine sich ausgedehnt hat, giebt sie nur eine schwache und unvollkommene Vorstellung von der beinahe endlosen Kunst und Geschicklichkeit, die man auf diese höchst schätzbare Maschine verwandt hat, eine Maschine, deren Werth in den Manufacturen und Bergwerken Großbritanniens immer dankbar erkannt werden wird. Ihre Wichtigkeit ist die beste und einzige Entschuldigung für den Raum, den sie in gegenwärtigem Werke eingenommen hat, und so weitläuftig die Beschreibung derselben scheinen mag, so begreift sie doch alle die mancherlei Veränderungen und Verbesserungen, die die Dampfmaschine erfahren hat, nicht einmal als Catalog, sondern sie soll bloß die Grundzüge ihrer besten und erprobtesten Einrichtungen angeben, wie sie nach und nach entstanden sind, und man hofft und glaubt, daß keine von denen, die überhaupt wichtig sind, mit Still-

schweigen übergangen sind. Es bleibt also jetzt bloß übrig, einige Bemerkungen über die Kraft der Dampfmaschine, und die Weise, wie jene berechnet oder geschätzt wird, zu machen.

Aus obiger Beschreibung wird erhellen, daß die Kraft, womit sich eine Maschine bewegt, von der Stärke des Dampfs und dem Flächenraum des Stämpels, auf den er einwirkt, abhängen muß, so daß bei Berechnung der Zahl von Quadratzollen des Stämpels, und bei der Kenntniß der Kraft, womit der Dampf gegen einen Quadratzoll des Kessels drückt (die man sich entweder durch den Dampfverdichtungsmesser oder eine andere Vorrichtung verschafft), das Facit sehr einfach scheint, weil wir bloß die Grundfläche des Stämpels in Quadratzollen mit der Kraft des Dampfs nach Pfunden, Unzen oder andern Gewichtsbenennungen zu multipliciren haben, und das Product ist die Kraft, mit der sich der Stämpel bewegen muß, in derselben Benennung ausgedrückt. Wenn also der Stämpel einer einfach wirkenden Maschine (Fig. 120) 54 Zoll Durchmesser hat, wie in den Wasserkünsten (S. 331), so enthält ein solcher Stämpel beinahe 2,291 Quadratzoll Oberfläche, und wenn der Barometer des Verdichters zeigt, daß die Luftpumpe ein gutes Vacuum darin erhält, und der Dampfverdichtungsmesser des Kessels zu 2 Zoll steht, oder zeigt, daß der Dampf 2 Pfund auf den Zoll gleich ist, während der gewöhnliche Wetterbarometer zu 30 Zoll steht: dann wird die Kraft, die auf den Stämpel wirkt, um ihn niederzudrücken, und die Pumpe zu heben, 38,945 Pfund oder über $17\frac{1}{3}$ Tonnen betragen; denn wäre das Vacuum vollkommen, so würde es den atmosphärischen Druck allein zu 15 Pfund auf jeden Quadratzoll wirken lassen, wenn der Barometer auf 30 Zoll stände, und da der Dampf 2 Pfund auf den Zoll stärker ist,

als die Atmosphäre, so würde folglich ein Druck von 17 Pfund auf jeden Quadratzoll des Stämpels da seyn, was das obige Resultat geben würde. Diese ungeheuere Kraft wird unbezweifelt in Thätigkeit gebracht, aber ungeachtet dieß der Fall ist, so hat man doch gefunden, daß wegen eines kleinen Theils Dampf, der unverdichtet in den Röhren bleibt, wegen der selbst bei der besten Arbeit unvermeidlichen Unvollkommenheiten, und wegen der Reibung und der Trägheit einer vollständigen Dampfmaschine, die wirkliche Quantität von anwendbarer Kraft, oder die die Maschine übrig läßt, um andere Maschinen zu treiben, nachdem sie ihre eigene Bewegung hervorgebracht hat, nicht wohl höher, als zu etwa 7 Pfund auf jeden Q. Zoll des Stämpels angeschlagen werden kann. Bei großen Maschinen ist die Reibung verhältnißmäßig geringer, als bei kleinern, und folglich kann man noch etwas zugeben, besonders wenn das Wetterbarometer über 30 Zoll steht, was selten lange der Fall ist. Eine kleine Maschine dagegen fodert einen größern Abzug, und wenn man also die Größe der Verdichtungsmaschine, die Höhe des Barometers, den Zustand der Luftpumpe, eins in's andere gerechnet, die Stärke des bei ihnen benutzten Dampfs von 7 bis $7\frac{1}{2}$ Pfund für den Quadratzoll der Grundfläche des Stämpels annimmt, so kann dieß als die anwendbare wirksame Kraft betrachtet werden, und mithin können von den 38,945 Pfd. Kraft, die auf den oben genannten Stämpel wirken, nicht mehr als ungefähr 16,036 Pfund als auf die Pumpen wirkend betrachtet werden. Einige Maschinenbaumeister lassen die Hälfte der absoluten Kraft als übrig bleibende disponible Kraft gelten. Auf jeden Fall muß also die Hälfte der wirklichen Kraft als verloren und durch Reibung, Widerstand u. s. w. abgegangen betrachtet werden, und daraus erhellet, wie sehr wünschenswerth

es sey, der Maschine den Balken, das Knie, Schwungrad, die Luft- und Kaltwasserpumpe, und in der That alles zu nehmen, was Reibung, Widerstand, oder Vis inertiae machen kann; und hierauf sind die Haupthoffnungen derer gegründet, die dahin gestrebt haben, gute Rotationsmaschinen zu schaffen. Auch die Hochdruckmaschine hat einige ihrer besten Eigenschaften diesem Umstande zu verdanken, denn, abgesehen von ihrer größern Einfachheit, wird ihre Reibung dadurch vermindert, daß ihre wirkenden Theile kleiner sind; und selbst wenn dieß nicht der Fall wäre, würde sie im Verhältniß zu der Kraft ihres Dampfs kleiner seyn. Wenn eine Verdichtungsmaschine, die zu 14 Pfund auf den Zoll wirkt, 7 Pfund verliert, so ist beinahe die halbe Kraft des Dampfs verloren; allein wenn dieselbe Maschine von Dampf zu 40 Pfund bethätigt wird, so bleibt die Reibung immer dieselbe, und würde wenig über ein Sechstel der Kraft des Dampfs betragen.

Auf diese Weise kann man durch Beobachtung des Barometers und des Dampfverdichtungsmessers die auf jedweden Stämpel wirkende Kraft bestimmen oder die umgekehrte Aufgabe lösen; denn wenn der Betrag einer Last (oder eines Widerstandes) bekannt ist (z. B. die Kraft, die zum Treiben einer Pumpe nöthig ist), so kann es nicht schwer seyn, die Größe eines Stämpels zu berechnen, der sie mit irgend einer gegebenen Kraft des Dampfs bezwingen soll. Aber aus dem, was oben über die Natur der Kraft (S. 47. u. s. w.) gesagt ist, folgt, daß, ehe wir zu einer verhältnißmäßigen Bestimmung der Kraft einer Dampfmaschine gelangen können, um eine bestimmte Idee von dem zu erhalten, was sie leisten kann, wir die Geschwindigkeit ihrer Bewegung sowohl als ihre Kraft zu Rathe ziehen müssen. Dampfmaschinen wurden bei ihrer Einführung sehr häufig statt der Roßmühlen gebraucht,

die ihnen vorangingen, und wenn deßhalb eine Mühle von zwei oder mehrern Pferden getrieben war, wurde es nöthig, die Maschine so zu bauen, daß sie der Arbeit von so viel Pferden gleichkam; denn wurde sie stärker, als nöthig war, gemacht, so mußte ein Verlust an Feuerung erfolgen, während im Gegentheil, wenn sie nicht stark genug war, die Arbeit nicht genügend von statten ging. Es wurde also üblich, die Maschinen nach Pferdekraft zu bezeichnen, eine Gewohnheit, die noch bis auf den heutigen Tag in einigen Fällen fortdauert, wiewohl nichts unbestimmter und ungenügender seyn kann, als diese Berechnungsweise. Die besten Mechaniker stimmen eben so wenig überein, wie viel die wirkliche Kraft eines Pferdes beträgt, als es wahrscheinlich ist, daß solch eine Uebereinstimmung je statt finden könne, da die Kraft von dem Alter, der Größe, Gesundheit und Stärke des Thiers, so gut wie vom Futter, Klima und von der Stellung abhängt, worin es arbeitet. Es kann also nichts weiter als ein ungefährer Ueberschlag gemacht werden, und dieser ist keineswegs mit den sichern Resultaten in Vergleich zu setzen, die immer von einem vollkommenen Maschinenwerk zu erhalten stehen. Smeaton, dessen genaue Untersuchungen und ausgedehnte Praxis als Baumeister keiner bezweifeln kann, setzt die Ueberschlagkraft eines Pferdes gleich dem Erheben von 22,916 Pfund um einen Fuß in einer Minute, und nimmt an, daß das Pferd diese Arbeit acht Stunden des Tages fortsetzen könne. Dr. Desaguliers im Gegentheil giebt 27,500 Pfd. zu, indeß Watt und Boulton sie bis 32,000 Pfund Sechszehnunzengewicht (Avoirdupoids) ausdehnen. Soll eine Maschine der Kraft eines Pferdes gleichkommen, so muß sie nicht nur dieselbe Kraft heben, sondern sich mit derselben Geschwindigkeit bewegen, denn Kraft und Geschwindigkeit können bei der Unter-

suchung nie getrennt werden. Unter Bewegung der Last haben wir die durch den Stämpel zu verstehen, und folglich wenn die Stämpelstange einer Maschine steigt oder sich einen Fuß in einer Minute mit einer Last von 32,000 Pfund bewegt, so muß die Maschine, zu der sie gehört, nach Watt's und Boulton's Berechnung, eine Maschine mit der Kraft von 1 Pferde seyn. Keine Dampfmaschine bewegt sich aber so langsam, sondern man hat durch zahllose Versuche gefunden, daß 200 bis 220 Fuß in einer Minute die beste Geschwindigkeit für einen Stämpel ist; daher wirken kleine Maschinen weit geschwinder als große; denn wenn der Cylinder einer Doppelmaschine so kurz ist, daß er bloß einen Zug von 2 Fuß zugiebt, so muß sein Stämpel 50 Mal in einer Minute auf- und niedersteigen, um durch 200 Fuß zu gehen, indeß eine Maschine mit einem Zuge von 10 Fuß nur 20 Bewegungen in derselben Zeit macht, oder sich 10 Mal auf- und niederbewegt. Da nun die bemerkte Ein-Pferde-Maschine in einer Minute durch 200 Fuß statt 1 gehen würde, so braucht sie bloß $\frac{1}{200}$ ihrer vorigen Last zu führen, oder 160 Pfd., um dieselbe Kraft zu geben; denn um 160 Pfd. 200 Fuß hoch in einer Minute zu bewegen, ist eben so viel Kraft erforderlich, als um 32,000 Pfund in derselben Zeit um 1 Fuß zu erheben. Wenn wir also das Gewicht bestimmen können, was jede Maschine hebt, und die Distanz, zu welcher sie es in einer gegebenen Zeit bringt, so wird es leicht, zu bestimmen, wie viel Pfund in einer Minute einen Fuß hoch gehoben werden, und durch Dividirung dieser Zahl mit der von Watt und Boulton vorgeschlagenen oder einer sonst beliebigen Verhältnißzahl der Kraft, ihr Vermögen nach Pferdekräften auszumitteln.

Wenn man von Pferdekraft der Maschinen spricht, so giebt dieß sicher bestimmtere Ansichten, als wenn man sezt, daß sie ein gewisses Gewicht zu einer gewissen Höhe in einer gewissen Zeit heben können; aber zu gleicher Zeit ist jenes viel weniger wissenschaftlich, und jezt viel weniger in Gebrauch, als vormals. Denn da das Pferd nichts mit der Maschine zu thun hat, und der sie anwendet, um sich nicht zu schaden, die Sache vielmehr in pecuniärer, als mechanischer Rücksicht betrachten muß, so ist die einzige reelle und vortheilhafte Vergleichung, die gemacht werden kann, die zwischen der geleisteten Arbeit und den Unkosten derselben; und da die Kosten hauptsächlich auf Kohlen oder andere Feuerung gehen, die in verschiedenen Gegenden nicht einerlei Preis haben, so berechnet man jezt allgemein die Kraft der Maschinen durch Vergleich der Leistung mit der dazu verbrauchten Kohlenmenge; und auf diese Weise kann jeder, er mag mechanische Einsicht haben oder nicht, für sich selbst urtheilen. Er weiß aus Erfahrung, daß die Leistung einer gewissen Quantität Arbeit eine gewisse Anzahl Menschen und Pferde fodert, und weiß, was der Unterhalt der ersten, und der Ankauf und Unterhalt der lezteren beträgt: und da er erfährt, daß eine Maschine von einem bestimmten Preis und einer bestimmten Größe bei einer bestimmten Kohlenmenge dasselbe thut, von welcher lezztern er nothwendig den Preis in seiner Gegend kennt, so ist er auf einmal im Stande, den verhältnißmäßigen Vortheil und Nachtheil der beiderlei Verfahrungsarten abzuwägen. Durch diese Berechnungsart ist auch die Zeit nicht in Anschlag gebracht, denn Watt und Boulton sagen, daß 48 Pfund oder ein Bushel (Scheffel) Newcastler Kohlen, die ohne Verlust unter einer von ihren doppelten Condensationsmaschinen verbraucht wer-

den, 30 Millionen Pfund einen Fuß hoch heben, ohne die Zeit, oder die Kraft der Maschine zu bestimmen; weil ein Scheffel Kohlen zwei Mal so lange unter einer Zehn-Pferde- als unter einer Zwanzig-Pferde-Maschine ausreichen muß, oder vielmehr die beiden Maschinen bei derselben Menge Feuerung dieselbe Arbeit leisten müssen. Einen Scheffel (Bushel) Kohlen halten sie gleichfalls für zureichend, eilf Scheffel Korn zu mahlen; allein eine doppelte Verdichtungsmaschine, die Hr. Penn, Mühlenbaumeister in Greenwich, für Hrn. Ritchie daselbst kürzlich gemacht und aufgestellt hat, übertraf diese Menge, und verwandelte 400 Scheffel mit 36 Scheffel Kohlen in Mehl. Der Cylinder dieser Maschine hat 24 Zoll Durchmesser mit einem fünffüßigen Doppelzug, den er 22 Mal in einer Minute wiederholt, so daß der Stämpel 220 Fuß in dieser Zeit bei vierpfündigem Dampf zurücklegt, und dieß zeigt, daß sie eine gemeinlich sogenannte Zwanzig-Pferde-Maschine ist. Wenn die Luftpumpen der Dampfmaschinen ein vollkommenes Vacuum in ihren Verdichtern hervorbringen könnten, so würde die völlige Kraft des Dampfs zur Wirkung gebracht; aber da diese Vollkommenheit selbst bei kleinen und genauen Luftpumpen, die man zu pneumatischen Versuchen gebraucht, nicht zu erreichen ist, so kann sie natürlicherweise bei einer großen Maschine nicht erwartet werden. Daher rührt ein großer Theil des anscheinenden Verlusts der vorhin angenommenen Kraft, weil, wiewohl Dampf von zwei Pfund über den atmosphärischen Druck zu dem Betrage von 17 Pfund auf jeden Quadratzoll des Stämpels drücken müßte, wenn der Barometer zu 30 Zoll steht, er dieß doch nur kann, wenn er an der entgegengesetzten Seite des Stämpels ein vollkommenes Vacuum ist, was niemals der Fall ist; statt daß also vermöge des Va-

cuums der Dampf von 1 Atmosphäre theoretisch mit 15 Pfd. drücken müßte, so geschieht dieß in der Praxis mit nicht mehr als höchstens 10 bis 12 Pfd. Wenn eine Maschine gut im Stande ist, und leichte Arbeit hat, so geschieht es oft, daß sie mit Dampf von geringerer Kraft wirkt, als die Atmosphäre. Wenn z. B. der Dampf um zwei Pfund weniger stark drücken sollte, als die Atmosphäre, und die Maschine ein Vacuum gleich zwölf Pfund macht, so wird dieser Dampf noch immer auf den Stämpel zu dem Betrage von zehn Pfund auf den Zoll wirken, was ausreichen kann, die Maschine zu treiben, und weil in diesem Falle der Kessel zum Theil ausgeleert ist, wird die Atmosphäre von außen auf ihn drücken, und man hat Beispiele, daß sie ihn eingedrückt hat. Diesen Unfall verhütet man dadurch, daß man ein kleines Federventil oben im Kessel anbringt, was sich nach innen öffnet und Luft einläßt, und das Gleichgewicht herstellt, wenn es nöthig ist.

Rücksichtlich der Kohlenmenge, die bei Maschinen, welche nach Pferdekraft berechnet werden, verbraucht wird, so ist ein Scheffel der gewöhnliche Ansatz auf eine Pferdekraft für ein Tagewerk; allein unter einem Tagewerk Pferdekraft versteht man immer nur acht Stunden wirkliche Arbeit. Dieser Ansatz wird von Manchen als unzureichend angesehen, und für kleine Maschinen ist er vielleicht nicht groß genug. Allein der Verfasser hatte Gelegenheit, diesen Gegenstand in den York Buildings Water Works, Villiers's-street, Strand, die ein paar Jahre vorher von Watt und Boulton in ihrem besten Styl gebaut waren, sehr genau zu untersuchen. Das Experiment ward ein ganzes Jahr fortgesetzt, während welcher Zeit die Kohlen ausgemessen wurden, und die Consumtion

zu 19,700 Scheffeln bestimmt, oder etwas mehr als 547 Chaldrons (Engl. Wispel). Die Maschine war ihrer Größe und Leistung nach eine von 60 Pferdekräften, und ging alle Tage, den Sonntag ausgenommen, etwa acht Stunden. Da nach Abzug der Sonntage 313 Tage im Jahre waren, so hätte nach Maaßgabe von 60 Scheffeln des Tags die ganze Consumtion 18,780 Scheffel betragen müssen; der Ueberschuß betrug also 920 Scheffel, was leicht zu erklären ist, weil ungeachtet die Maschine nur acht Stunden des Tages ging, doch die ganze Zeit das Feuer nicht ausging, sondern so schwach, wie möglich, die Nächte über, so wie des Sonntags, brennend erhalten wurde, um die Kessel in der Hitze zu erhalten, und der Vorsicht wegen, falls in der Gegend Feuer ausbräche. Es ist daher ausgemacht, daß, wenn die Maschine beständig im Gange gewesen wäre, ein Scheffel auf eine Pferdekraft für jede 8 Stunden Arbeit überflüssig ausgereicht haben würde.

Was man durch gehörige Wartung des Feuers bewerkstelligen kann, erhellet zureichend aus der Veränderung, die in den Bergwerksgegenden von Cornwall durch die Anstellung eines Oberaufsehers der Maschinen daselbst stattgefunden hat. (Vergl. Philos. Magaz. Vol. XLVI. p. 136.) Durch eine Uebereinkunft zwischen den Grubenbesitzern Thomas und John Lean wurden vor einigen Jahren Aufseher über alle Dampfmaschinen in einem sehr großen Districte angestellt, in Folge dessen ein großer bis dahin ungewöhnlicher Wetteifer unter den Maschinenarbeitern erregt wurde, der für die Unternehmer die glücklichsten Folgen hatte; denn es wurde eine weit größere Menge von Arbeit bei verminderter Feuerung gethan. So hoben im Jahr 1811, da diese Aufseher angestellt

wurden, acht beaufsichtigte Maschinen nur 15,760,000 Pfund Wasser mit jedem Scheffel Kohlen einen Fuß hoch. Aber so groß war die Aufmerksamkeit und der Wetteifer unter den Maschinenarbeitern, da ihr Verfahren beobachtet und darüber berichtet wurde, daß 1813 die überschlägliche Lieferung von neun und zwanzig Maschinen, mit Einschluß der bereits erwähnten, und unter denen keine Woolf'schen sind, zu 20,102,000 Pfd. vermehrt war, was bei jedem Scheffel Kohlen einen Unterschied von fast fünf Millionen Pfund Wasser machte, und zwar bloß durch die vermehrte Sorgfalt.

Die monatlichen Berichte der Herren Lean wurden alle nach persönlicher Ansicht gemacht und eidlich bekräftigt, worauf sie gedruckt und verbreitet wurden; auch wurden Auszüge in dem Philosoph. Magaz. nach August 1815 gegeben, und wegen des Ansehens der Betheiligten und der Bekräftigung, die sie von den Grubeneigenthümern erhielten, kann kein Zweifel über ihre Aechtheit obwalten, besonders da ihre Angaben nicht bestritten wurden. Daher läßt sich der Werth irgend eines besondern Maschinenbaues leichter aus diesen Untersuchungen deduciren, als sonst wodurch; und diese Berichte waren es, die den Vorzug der Woolf'schen Maschine, wie vorhin bemerkt ist, darthaten. (Umständlichere Angaben über die Kraft und Einrichtung der Woolf'schen Maschine finden sich in den Philosoph. Magaz. Vol. XIX. p. 133. Vol. XXIII. p. 123, und 335, und Vol. XLVI. p. 43 und 120.) Denn nach der unpartheiischsten Untersuchung mehrerer Jahre nach einander zeigte sich, daß seine Maschine in der Grube Wheal Abraham mit einem Scheffel Kohlen 44 Millionen Pfund hob, indeß die beste Verdichtungsma-

schine von Watt und Boulton in der Grube Dalcoath nur 43 Millionen hob. Dieß ward nochmals bestätigt durch den Beweis der Herren Lean, der 1817 vor einem Ausschuß des Unterhauses geführt wurde, und woraus sich ergab, daß die überschlägliche Ersparung von Feuerung bei der Woolf'schen Einrichtung zwischen zwei bis drei Fünftel größer war, als bei jeder anderen Maschine.

Dieß ist die Beschreibung der Dampfmaschine, wie sie gegenwärtig ist, allein was ein künftiger Beschreiber darüber zu sagen haben wird, kann die Zeit allein lehren. Selbst eine Aufzählung ihrer verschiedenen Anwendungen würde einen Katalog aller Künste und Manufacturen in der Welt begreifen. Hier wendet der Bergmann sie an, die tiefsten Schlünde der Erde auszutrocknen, dort wird dem ungewissen Winde damit Trotz geboten, und unsere Waaren werden mit einer Sicherheit über den Ocean geführt, die man ehedem für ein Hirngespinnst gehalten haben würde. Das Brod, was wir essen, die Kleider, die wir tragen, der Hausrath, den wir brauchen, ja selbst der Druck der Bücher und Zeitungen, die wir lesen, sind sämmtlich ein Product von ihrer vielfach anwendbaren Kraft; und wenn wir bedenken, daß ein so schwaches Geschöpf, wie der Mensch, eine einzige Maschine bauen und beherrschen kann, die an Kraft mehr denn tausend Pferden, die zugleich arbeiten, gleichkömmt, wie in der Chasewatergrube in Cornwall, und dieß bloß durch das Studium und die Untersuchung der einfachen Gesetze und Wirkungen der Natur, so kann man die Zeit nicht übel angewandt halten, die man der Physik widmet, selbst wenn dieß ihr alleiniger Nutzen wäre. Ihre Kräfte sind aber noch weit

erhabener, denn während sie uns die besten Mittel lehrt, unsere natürlichen mechanischen Fähigkeiten zu üben, erhebt sie den Geist zur Anstrengung des Denkvermögens, und setzt uns in den Stand, uns höhere Begriffe von der Weisheit, Macht und Güte des grossen Schöpfers aller Dinge zu bilden, als wir sonst könnten.

Ende des ersten Theils.

Verzeichniß

einiger Schriften aus dem Gebiete der Mathematik, Astronomie, Naturkunde ꝛc.,

welche

im Verlage des Landes-Industrie-Comptoirs und des Geographischen Instituts zu Weimar erschienen

und

durch alle Buchhandlungen zu bekommen sind.

Kirchner, F. A., über das Verhältniß des Stoßes fester Körper. Eine Abhandlung über die Streitfrage: Verhält sich der Stoß fester Körper wie die Geschwindigkeit, oder wie das Quadrat der Geschwindigkeit, wenn nämlich die Masse einerlei ist? Mit 1 Kupfertafel. gr. 8. 1811. 6 Gr. od. 27. Kr.

Olbers, W., Abhandlung über die leichteste und bequemste Methode, die Bahn eines Kometen aus eigenen Beobachtungen zu berechnen. Mit 1 Kupf. und Tab. gr. 8. 1797. 1 Rthlr. od. 1 Fl. 48 Kr.

Schraderi, E., Commentatio de summatione seriei $\frac{a}{b(b+d)}+\frac{a}{b+2d(b+3d)}+\frac{a}{b+4d(b+5d)}$ ab illustri societate Regia Hafniensi in certamine literario praemio Regio ornata. 4. 1818. 16 Gr. od. 1 Fl. 12 Kr.

(In Commission.)

Streit, F. W., Lehrbuch der reinen Mathematik, für den Selbstunterricht. I. Theil. 2te verbess. und verm. Aufl. 1822. 1 Rthlr. od. 1 Fl. 48 Kr.

Auch unter dem Titel:

Anfangsgründe der Arithmetik, nämlich die vier Rechnungsarten mit Buchstaben, die Lehre von den gemeinen und Decimalbrüchen, nebst den Potenzen und Wurzel-Größen.

Desselben II. Th. 2te verb. und verm. Aufl. gr. 8. 1823. 18 Gr. od. 1 Fl. 21 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von den Verhältnissen und Proportionen, nebst den Anfangsgründen der Algebraischen Auflösungen und den Aufgaben des 1sten und 2ten Grades.

— — III. Th. gr. 8. 1817. 1 Rthlr. od. 1 Fl. 48 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von den zusammenhängenden Brüchen, unbestimmten Aufgaben, von den Reihen, Logarithmen, und den dahin einschlagenden Rechnungsarten.

Desselben IV. Th. gr. 8. 1818 1 Rthlr. od. 1 Fl. 48 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von den Functionen und ihren Verwandlungen; die

Anwendung der Reihen auf die Berechnung der Logarithmen, aus der Entwickelung der Potenzen und die Summirung einiger besondern, theils endlichen, theils unendlichen Reihen, nebst den höheren Gleichungen.

— — V. Th. Mit 6 Kupfertaf. gr. 8. 1819. 1 Rthlr. 12 Gr. od. 2 Fl. 42 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von den Eigenschaften der Linien und der ebenen Flächen. Mit 6 Kupfertaf.

— — VI. Th. Mit 3 Kupfertaf. gr. 8. 1820. 21 Gr. od. 1 Fl. 34 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von der Lage und Stellung der Ebenen und von den Eigenschaften der Körper, ihrer Berechnung und Ausmessung ꝛc. Mit 3 Kupfertaf.

— — VII. Th., die ebene und sphärische Trigonometrie. gr. 8. 1820. Mit 2 Kupfertaf. 1 Rthlr. 3 Gr. od. 2 Fl. 3 Kr.

— — VIII. Theil. Die practische Geometrie. gr. 8. 1820. 1 Rthlr. 18 Gr. od. 3 Fl. 9 Kr.

— — IX. Th. Mit 1 Kupfertaf. gr. 8. 1 Rthlr. od. 1 Fl. 48 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von den Kegelschnitten, nebst einem Anhange von einigen andern krummen Linien.

Das ganze Werk vollständig, oder 1. bis 9. Th., 10 Rthlr. od. 18 Fl.

Voigt's, J. H., populäres Lehrbuch der Sternkunde, sowohl zum Gebrauch für Schulen, als zum Selbstunterrichte für Liebhaber der Astronomie. Mit Kupfern. gr. 8. 1799. 1 Rthlr. 18 Gr. od. 3 Fl. 9 Kr.

— — cosmographische Entwickelung aller Begriffe und Kenntnisse, welche bei der zweckmäßigsten Benutzung der künstlichen Himmels- und Erdkugeln erforderlich sind. Mit Rücksicht auf die beiden neuen, zugleich erschienenen, 12zolligen Globen Mit 1 Kupfertaf. gr. 8. 1810. 1 Rthlr 6 Gr. od. 2 Fl. 15 Kr.

— — allgemeiner immerwährender katholisch-protestantischer Kalender für die Jahre der christlichen Zeitrechnung, von 1—2200, und einer chronologischen Einleitung in die Geschichte des gesammten Kalenderwesens; Teutsch und Französisch; auch unser dem Titel: *Calendrier universel et perpétuel* par 2200 anrées de l'Ere chrétienne. gr. 8. 1809. broch. 3 Rthlr. od. 5 Fl 24 Kr.

— derselbe einzeln geheftet in Futteral zum Zerlegen bei'm Geschäfts- und Comptoir-Gebrauche. 3 Rthlr. 6 Gr. od. 5 Fl. 51 Kr.

Bem, Jos., Erfahrungen über die Congrevischen Brandraketen bis zum Jahr 1819 in der Kön. Polnischen Artillerie gesammelt. Nebst dem Französischen Originaltext in Teutscher Uebersetzung und mit Anmerkungen, von M. Schub Mit 2 Abbildungen. gr. 4. 1820. 1 Rthlr. od. 1 Fl. 48 Kr.

Anwendung der Reihen auf die Berechnung der Logarithmen, aus der Entwickelung der Potenzen und die Summirung einiger besondern, theils endlichen, theils unendlichen Reihen, nebst den höheren Gleichungen.

— — V. Th. Mit 6 Kupfertaf. gr. 8. 1819. 1 Rthlr. 12 Gr. od. 2 Fl. 42 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von den Eigenschaften der Linien und der ebenen Flächen. Mit 6 Kupfertaf.

— — VI. Th. Mit 3 Kupfertaf. gr. 8. 1820. 21 Gr. od. 1 Fl. 34 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von der Lage und Stellung der Ebenen und von den Eigenschaften der Körper, ihrer Berechnung und Ausmessung ꝛc. Mit 3 Kupfertaf.

— — VII. Th., die ebene und sphärische Trigonometrie. gr. 8. 1820. Mit 2 Kupfertaf. 1 Rthlr. 3 Gr. od. 2 Fl. 3 Kr.

— — VIII. Theil. Die practische Geometrie. gr. 8. 1820. 1 Rthlr. 18 Gr. od. 3 Fl. 9 Kr.

— — IX. Th. Mit 1 Kupfertaf. gr. 8. 1 Rthlr. od. 1 Fl. 48 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von den Kegelschnitten, nebst einem Anhange von einigen andern krummen Linien.

Das ganze Werk vollständig, oder 1. bis 9. Th., 10 Rthlr. od. 18 Fl.

Voigt's, J. H., populäres Lehrbuch der Sternkunde, sowohl zum Gebrauch für Schulen, als zum Selbstunterrichte für Liebhaber der Astronomie. Mit Kupfern. gr. 8. 1799. 1 Rthlr. 18 Gr. od. 3 Fl. 9 Kr.

— — cosmographische Entwickelung aller Begriffe und Kenntnisse, welche bei der zweckmäßigsten Benutzung der künstlichen Himmels- und Erdkugeln erforderlich sind. Mit Rücksicht auf die beiden neuen, zugleich erschienenen, 12zolligen Globen Mit 1 Kupfertaf. gr. 8. 1810. 1 Rthlr 6 Gr. od. 2 Fl. 15 Kr.

— — allgemeiner immerwährender katholisch-protestantischer Kalender für die Jahre der christlichen Zeitrechnung, von 1—2200, und einer chronologischen Einleitung in die Geschichte des gesammten Kalenderwesens; Teutsch und Französisch; auch unser dem Titel: *Calendrier universel et perpétuel* par 2200 anrées de l'Ere chrétienne. gr. 8. 1809. broch. 3 Rthlr. od. 5 Fl 24 Kr.

— derselbe einzeln geheftet in Futteral zum Zerlegen bei'm Geschäfts- und Comptoir-Gebrauche. 3 Rthlr. 6 Gr. od. 5 Fl. 51 Kr.

Bem, Jos., Erfahrungen über die Congrevischen Brandraketen bis zum Jahr 1819 in der Kön. Polnischen Artillerie gesammelt. Nebst dem Französischen Originaltext in Teutscher Uebersetzung und mit Anmerkungen, von M. Schub Mit 2 Abbildungen. gr. 4. 1820. 1 Rthlr. od. 1 Fl. 48 Kr.

Anwendung der Reihen auf die Berechnung der Logarithmen, aus der Entwickelung der Potenzen und die Summirung einiger besondern, theils endlichen, theils unendlichen Reihen, nebst den höheren Gleichungen.

— — V. Th. Mit 6 Kupfertaf. gr. 8. 1819. 1 Rthlr. 12 Gr. od. 2 Fl. 42 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von den Eigenschaften der Linien und der ebenen Flächen. Mit 6 Kupfertaf.

— — VI. Th. Mit 3 Kupfertaf. gr. 8. 1820. 21 Gr. od. 1 Fl. 34 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von der Lage und Stellung der Ebenen und von den Eigenschaften der Körper, ihrer Berechnung und Ausmessung ꝛc. Mit 3 Kupfertaf.

— — VII. Th., die ebene und sphärische Trigonometrie. gr. 8. 1820. Mit 2 Kupfertaf. 1 Rthlr. 3 Gr. od. 2 Fl. 3 Kr.

— — VIII. Theil. Die practische Geometrie. gr. 8. 1820. 1 Rthlr. 18 Gr. od. 3 Fl. 9 Kr.

— — IX. Th. Mit 1 Kupfertaf. gr. 8. 1 Rthlr. od. 1 Fl. 48 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von den Kegelschnitten, nebst einem Anhange von einigen andern krummen Linien.

Das ganze Werk vollständig, oder 1. bis 9. Th., 10 Rthlr. od. 18 Fl.

Voigt's, J. H., populäres Lehrbuch der Sternkunde, sowohl zum Gebrauch für Schulen, als zum Selbstunterrichte für Liebhaber der Astronomie. Mit Kupfern. gr. 8. 1799. 1 Rthlr. 18 Gr. od. 3 Fl. 9 Kr.

— — cosmographische Entwickelung aller Begriffe und Kenntnisse, welche bei der zweckmäßigsten Benutzung der künstlichen Himmels- und Erdkugeln erforderlich sind. Mit Rücksicht auf die beiden neuen, zugleich erschienenen, 12zolligen Globen Mit 1 Kupfertaf. gr. 8. 1810. 1 Rthlr 6 Gr. od. 2 Fl. 15 Kr.

— — allgemeiner immerwährender katholisch-protestantischer Kalender für die Jahre der christlichen Zeitrechnung, von 1—2200, und einer chronologischen Einleitung in die Geschichte des gesammten Kalenderwesens; Teutsch und Französisch; auch unser dem Titel: *Calendrier universel et perpétuel* par 2200 anrées de l'Ere chrétienne. gr. 8. 1809. broch. 3 Rthlr. od. 5 Fl 24 Kr.

— derselbe einzeln geheftet in Futteral zum Zerlegen bei'm Geschäfts- und Comptoir-Gebrauche. 3 Rthlr. 6 Gr. od. 5 Fl. 51 Kr.

Bem, Jos., Erfahrungen über die Congrevischen Brandraketen bis zum Jahr 1819 in der Kön. Polnischen Artillerie gesammelt. Nebst dem Französischen Originaltext in Teutscher Uebersetzung und mit Anmerkungen, von M. Schub Mit 2 Abbildungen. gr. 4. 1820. 1 Rthlr. od. 1 Fl. 48 Kr.

Anwendung der Reihen auf die Berechnung der Logarithmen, aus der Entwickelung der Potenzen und die Summirung einiger besondern, theils endlichen, theils unendlichen Reihen, nebst den höheren Gleichungen.

— — V. Th. Mit 6 Kupfertaf. gr. 8. 1819. 1 Rthlr. 12 Gr. od. 2 Fl. 42 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von den Eigenschaften der Linien und der ebenen Flächen. Mit 6 Kupfertaf.

— — VI. Th. Mit 3 Kupfertaf. gr. 8. 1820. 21 Gr. od. 1 Fl. 34 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von der Lage und Stellung der Ebenen und von den Eigenschaften der Körper, ihrer Berechnung und Ausmessung ꝛc. Mit 3 Kupfertaf.

— — VII. Th., die ebene und sphärische Trigonometrie. gr. 8. 1820. Mit 2 Kupfertaf. 1 Rthlr. 3 Gr. od. 2 Fl. 3 Kr.

— — VIII. Theil. Die practische Geometrie. gr. 8. 1820. 1 Rthlr. 18 Gr. od. 3 Fl. 9 Kr.

— — IX. Th. Mit 1 Kupfertaf. gr. 8. 1 Rthlr. od. 1 Fl. 48 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von den Kegelschnitten, nebst einem Anhange von einigen andern krummen Linien.

Das ganze Werk vollständig, oder 1. bis 9. Th., 10 Rthlr. od. 18 Fl.

Voigt's, J. H., populäres Lehrbuch der Sternkunde, sowohl zum Gebrauch für Schulen, als zum Selbstunterrichte für Liebhaber der Astronomie. Mit Kupfern. gr. 8. 1799. 1 Rthlr. 18 Gr. od. 3 Fl. 9 Kr.

— — cosmographische Entwickelung aller Begriffe und Kenntnisse, welche bei der zweckmäßigsten Benutzung der künstlichen Himmels- und Erdkugeln erforderlich sind. Mit Rücksicht auf die beiden neuen, zugleich erschienenen, 12zolligen Globen Mit 1 Kupfertaf. gr. 8. 1810. 1 Rthlr 6 Gr. od. 2 Fl. 15 Kr.

— — allgemeiner immerwährender katholisch-protestantischer Kalender für die Jahre der christlichen Zeitrechnung, von 1—2200, und einer chronologischen Einleitung in die Geschichte des gesammten Kalenderwesens; Teutsch und Französisch; auch unser dem Titel: *Calendrier universel et perpétuel* par 2200 anrées de l'Ere chrétienne. gr. 8. 1809. broch. 3 Rthlr. od. 5 Fl 24 Kr.

— derselbe einzeln geheftet in Futteral zum Zerlegen bei'm Geschäfts- und Comptoir-Gebrauche. 3 Rthlr. 6 Gr. od. 5 Fl. 51 Kr.

Bem, Jos., Erfahrungen über die Congrevischen Brandraketen bis zum Jahr 1819 in der Kön. Polnischen Artillerie gesammelt. Nebst dem Französischen Originaltext in Teutscher Uebersetzung und mit Anmerkungen, von M. Schub Mit 2 Abbildungen. gr. 4. 1820. 1 Rthlr. od. 1 Fl. 48 Kr.

Anwendung der Reihen auf die Berechnung der Logarithmen, aus der Entwickelung der Potenzen und die Summirung einiger besondern, theils endlichen, theils unendlichen Reihen, nebst den höheren Gleichungen.

— — V. Th. Mit 6 Kupfertaf. gr. 8. 1819. 1 Rthlr. 12 Gr. od. 2 Fl. 42 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von den Eigenschaften der Linien und der ebenen Flächen. Mit 6 Kupfertaf.

— — VI. Th. Mit 3 Kupfertaf. gr. 8. 1820. 21 Gr. od. 1 Fl. 34 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von der Lage und Stellung der Ebenen und von den Eigenschaften der Körper, ihrer Berechnung und Ausmessung ꝛc. Mit 3 Kupfertaf.

— — VII. Th., die ebene und sphärische Trigonometrie. gr. 8. 1820. Mit 2 Kupfertaf. 1 Rthlr. 3 Gr. od. 2 Fl. 3 Kr.

— — VIII. Theil. Die practische Geometrie. gr. 8. 1820. 1 Rthlr. 18 Gr. od. 3 Fl. 9 Kr.

— — IX. Th. Mit 1 Kupfertaf. gr. 8. 1 Rthlr. od. 1 Fl. 48 Kr.

Auch unter dem Titel:

Die Lehre von den Kegelschnitten, nebst einem Anhange von einigen andern krummen Linien.

Das ganze Werk vollständig, oder 1. bis 9. Th., 10 Rthlr. od. 18 Fl.

Voigt's, J. H., populäres Lehrbuch der Sternkunde, sowohl zum Gebrauch für Schulen, als zum Selbstunterrichte für Liebhaber der Astronomie. Mit Kupfern. gr. 8. 1799. 1 Rthlr. 18 Gr. od. 3 Fl. 9 Kr.

— — cosmographische Entwickelung aller Begriffe und Kenntnisse, welche bei der zweckmäßigsten Benutzung der künstlichen Himmels- und Erdkugeln erforderlich sind. Mit Rücksicht auf die beiden neuen, zugleich erschienenen, 12zolligen Globen Mit 1 Kupfertaf. gr. 8. 1810. 1 Rthlr 6 Gr. od. 2 Fl. 15 Kr.

— — allgemeiner immerwährender katholisch-protestantischer Kalender für die Jahre der christlichen Zeitrechnung, von 1—2200, und einer chronologischen Einleitung in die Geschichte des gesammten Kalenderwesens; Teutsch und Französisch; auch unser dem Titel: *Calendrier universel et perpétuel* par 2200 anrées de l'Ere chrétienne. gr. 8. 1809. broch. 3 Rthlr. od. 5 Fl 24 Kr.

— derselbe einzeln geheftet in Futteral zum Zerlegen bei'm Geschäfts- und Comptoir-Gebrauche. 3 Rthlr. 6 Gr. od. 5 Fl. 51 Kr.

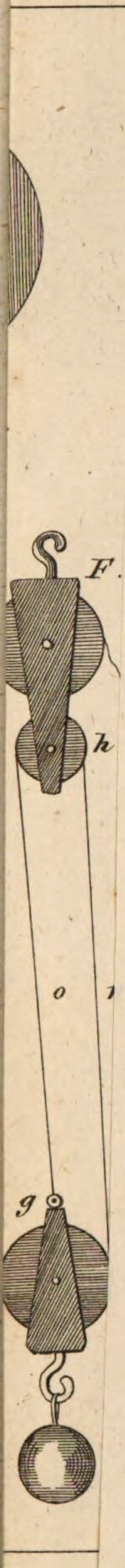
Bem, Jos., Erfahrungen über die Congrevischen Brandraketen bis zum Jahr 1819 in der Kön. Polnischen Artillerie gesammelt. Nebst dem Französischen Originaltext in Teutscher Uebersetzung und mit Anmerkungen, von M. Schub Mit 2 Abbildungen. gr. 4. 1820. 1 Rthlr. od. 1 Fl. 48 Kr.

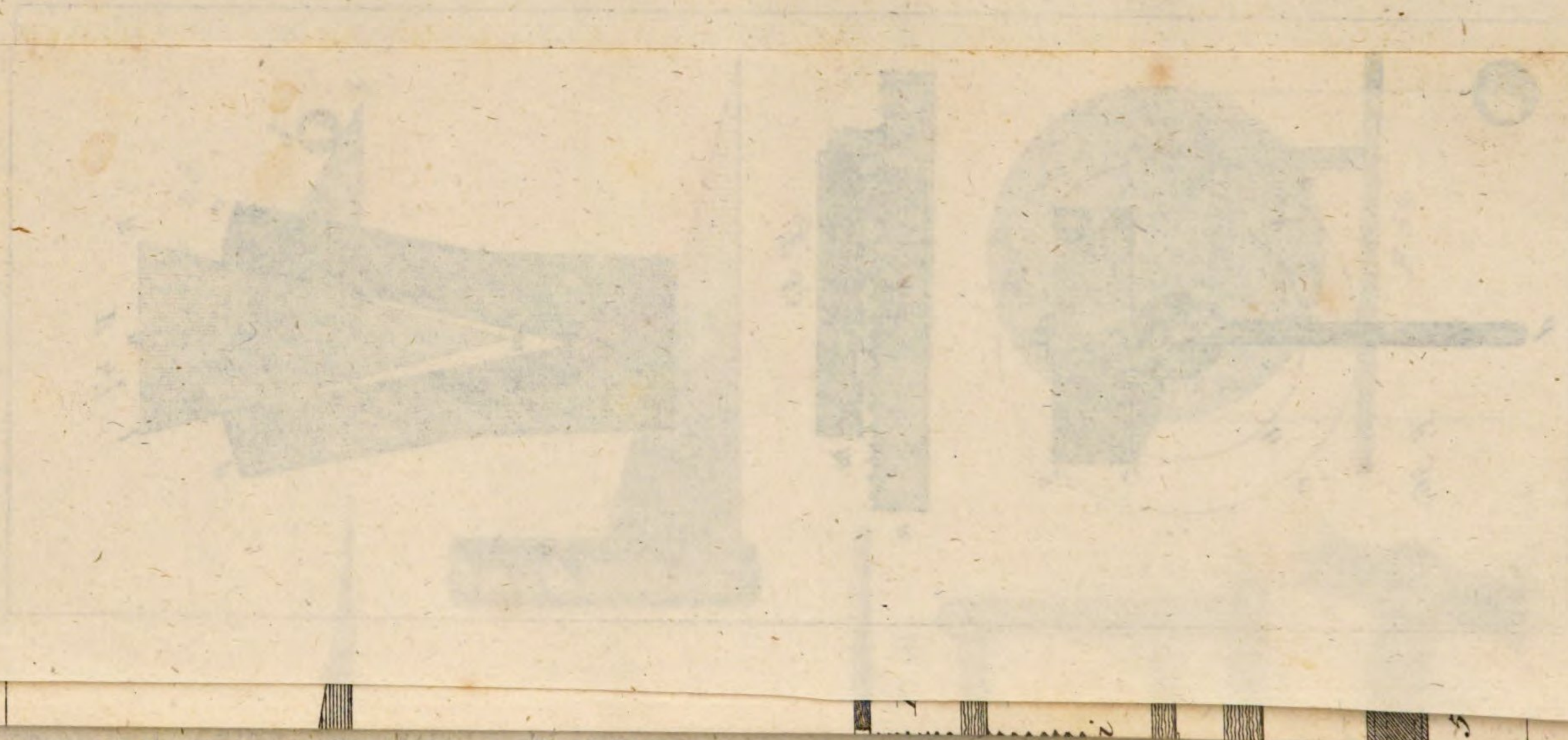
e
f
g

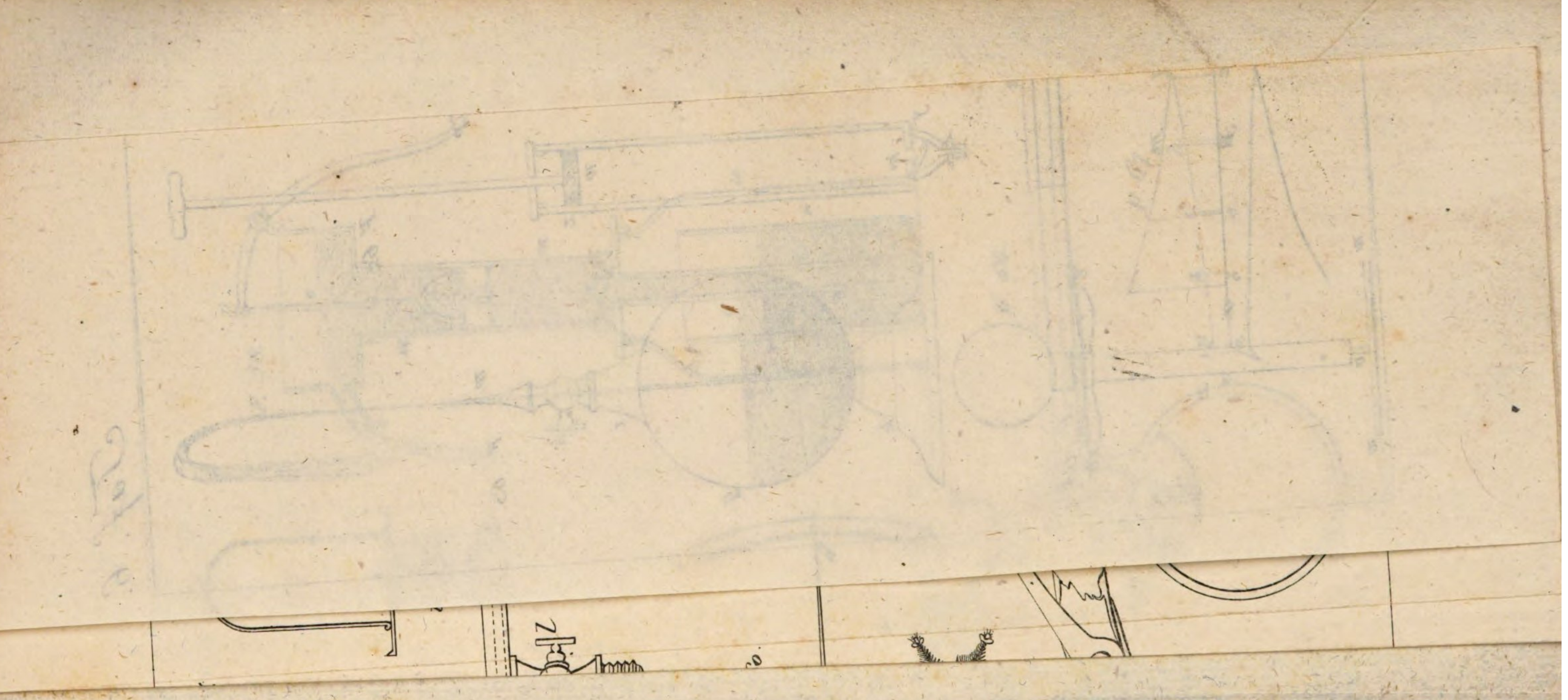
f

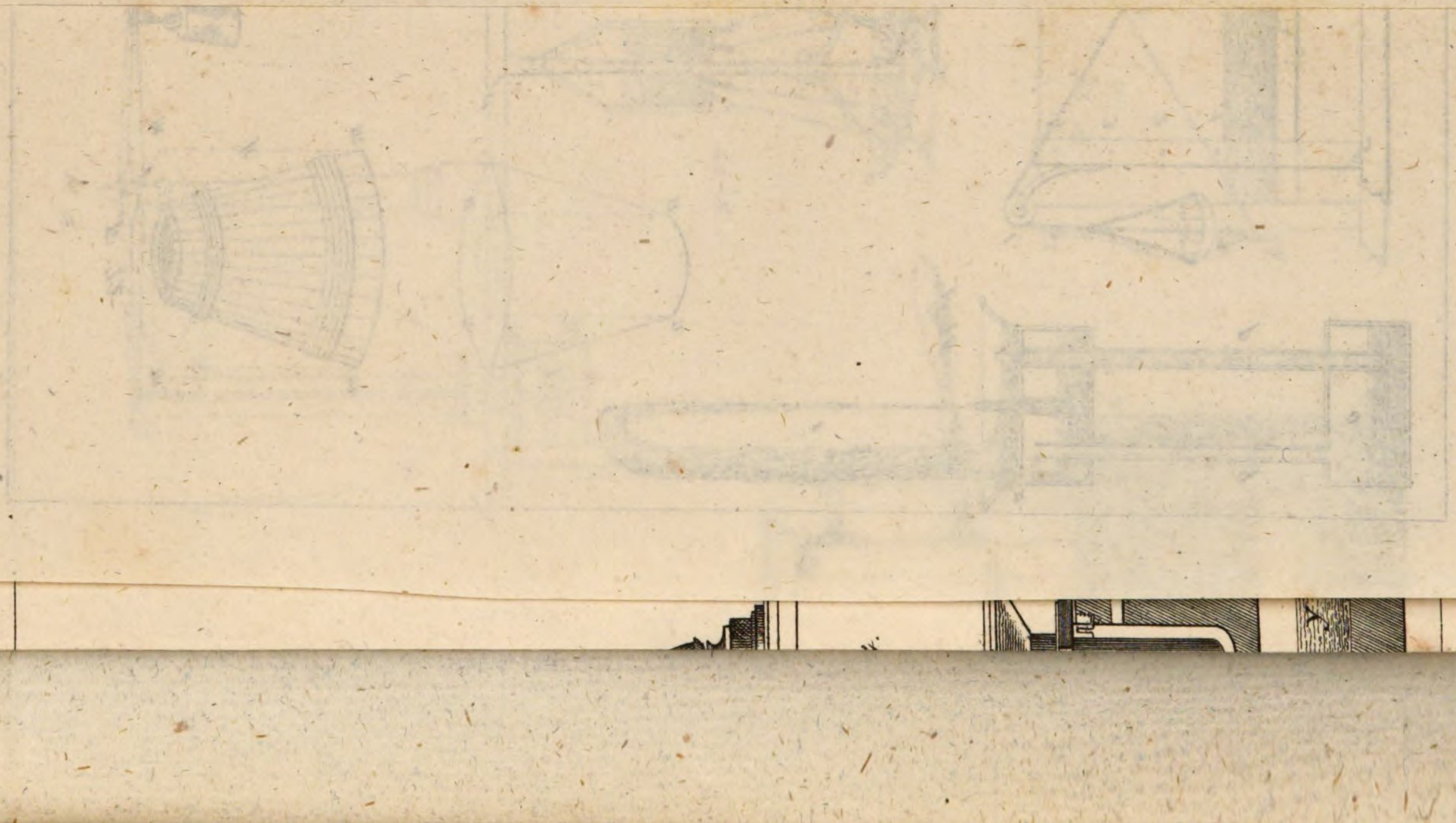
m

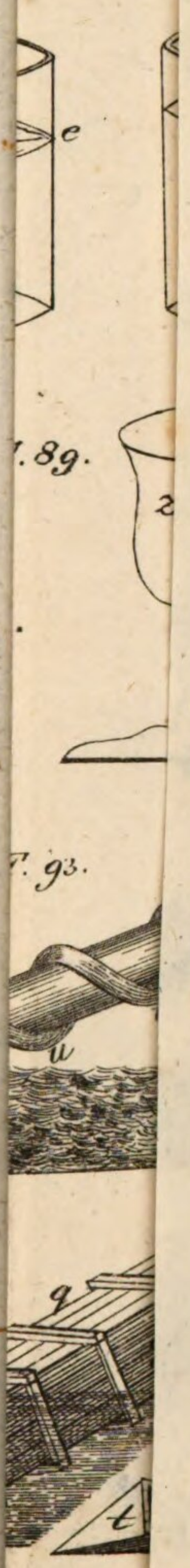
l r


F.
h
o
g

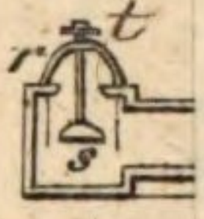




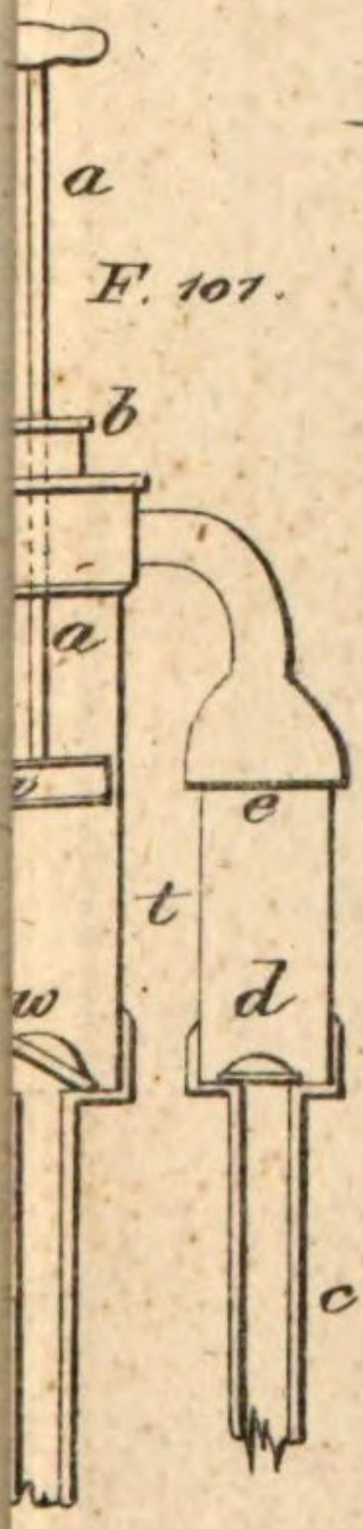



e
.89.
2
.93.
u
q
t

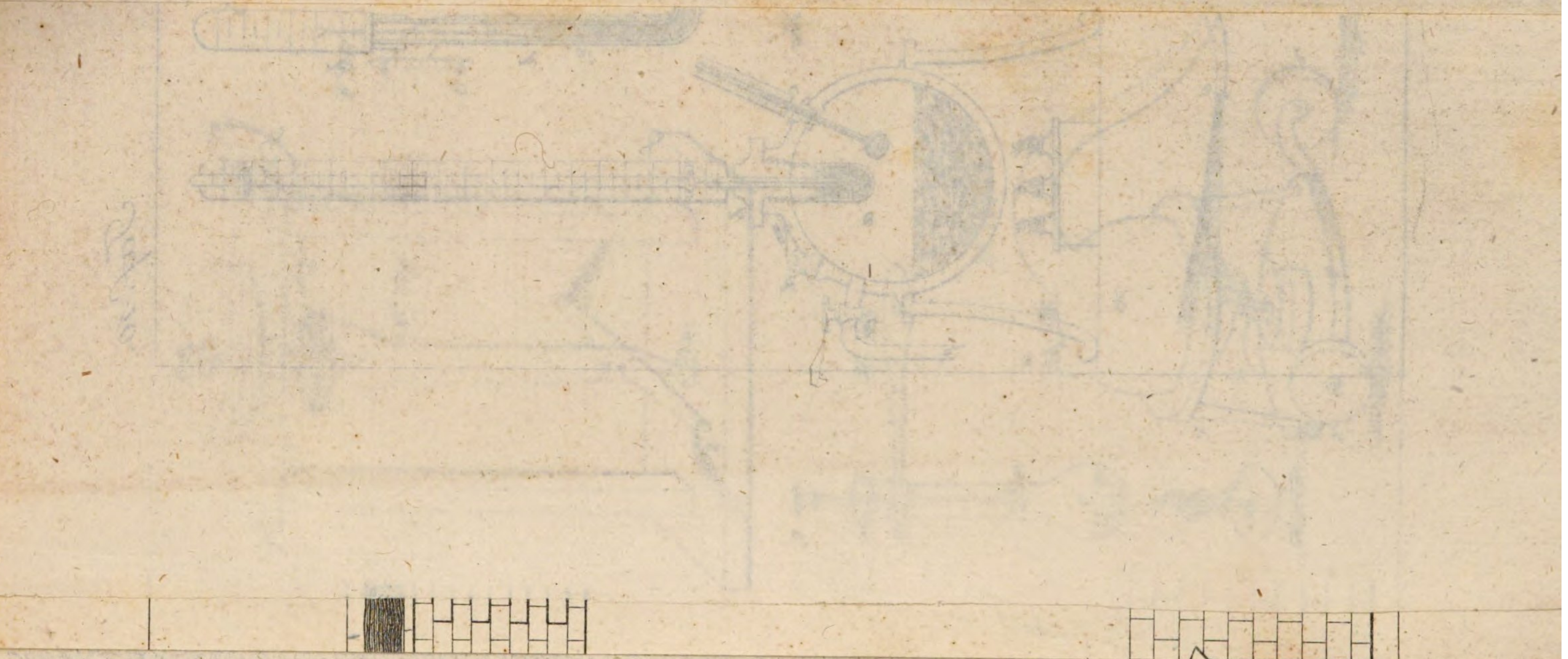
F. 10

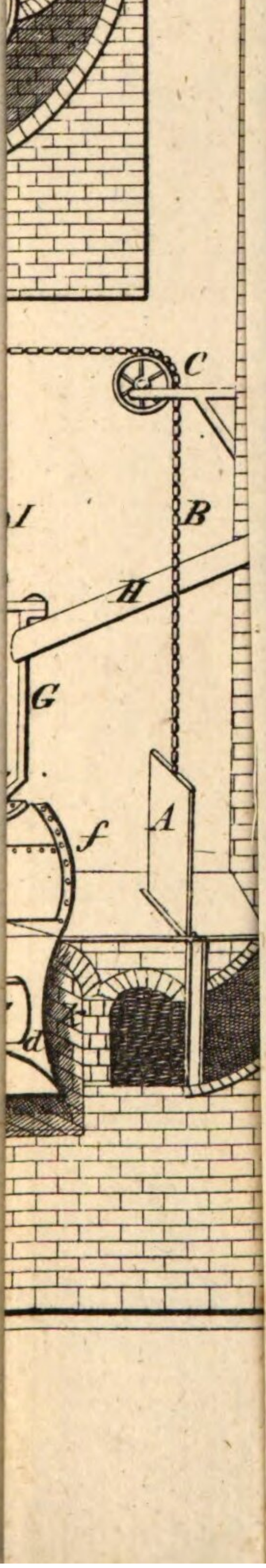


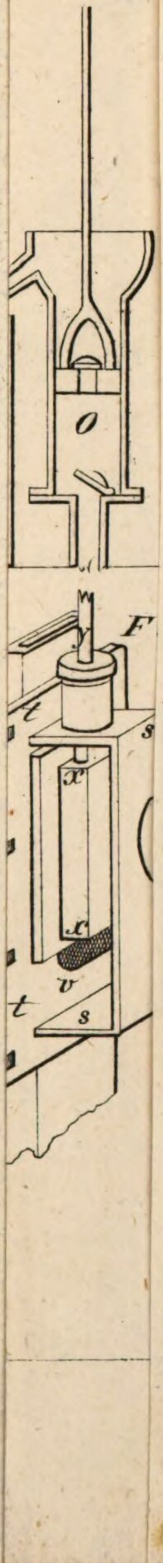
F. 105.

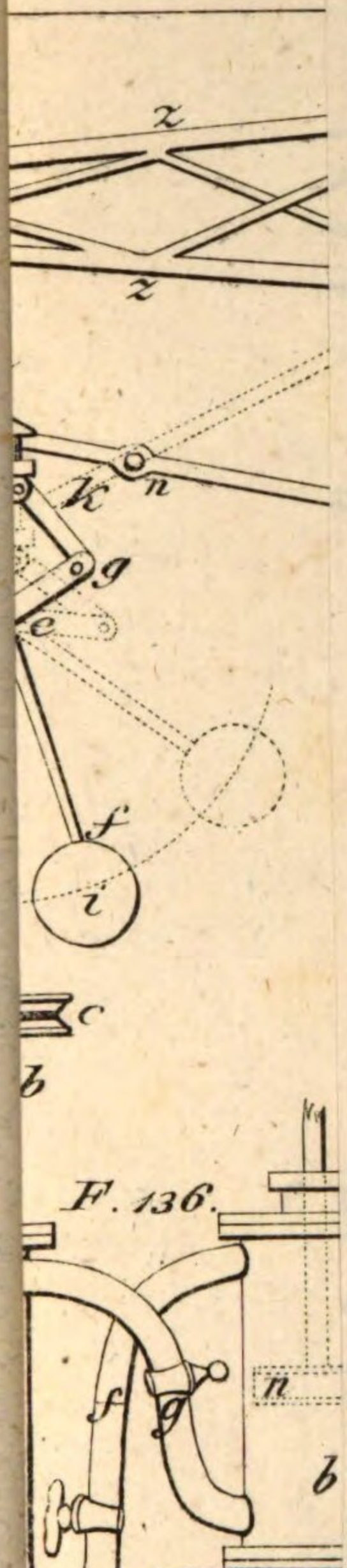


F. 107.

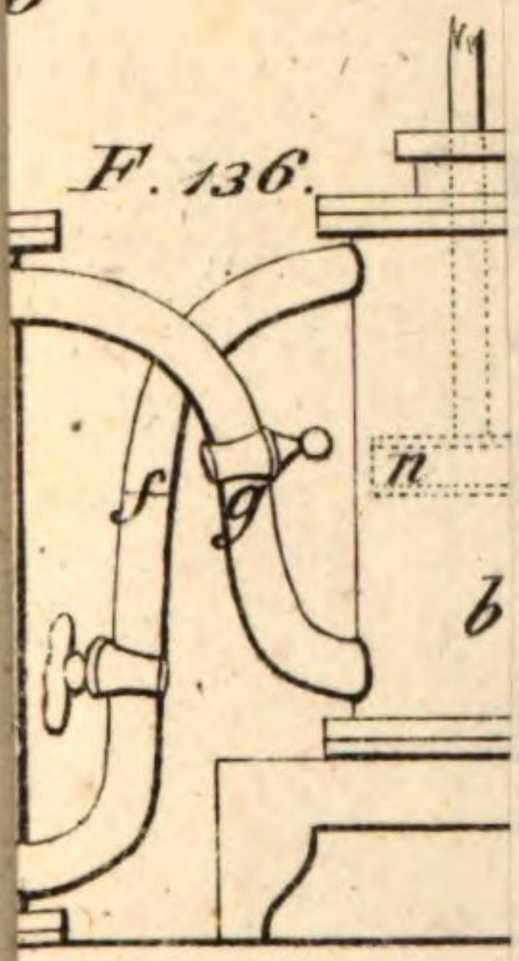



S
C
I
B
H
G
f
A
d

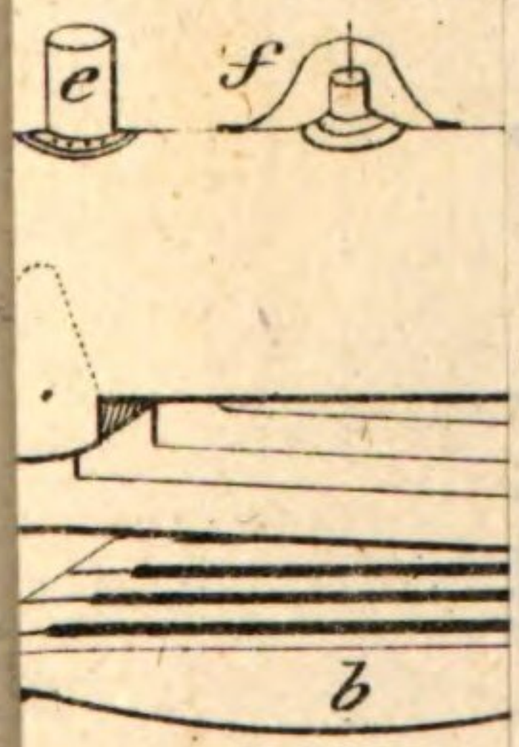

O
F
t
s
x
x
v
t
s

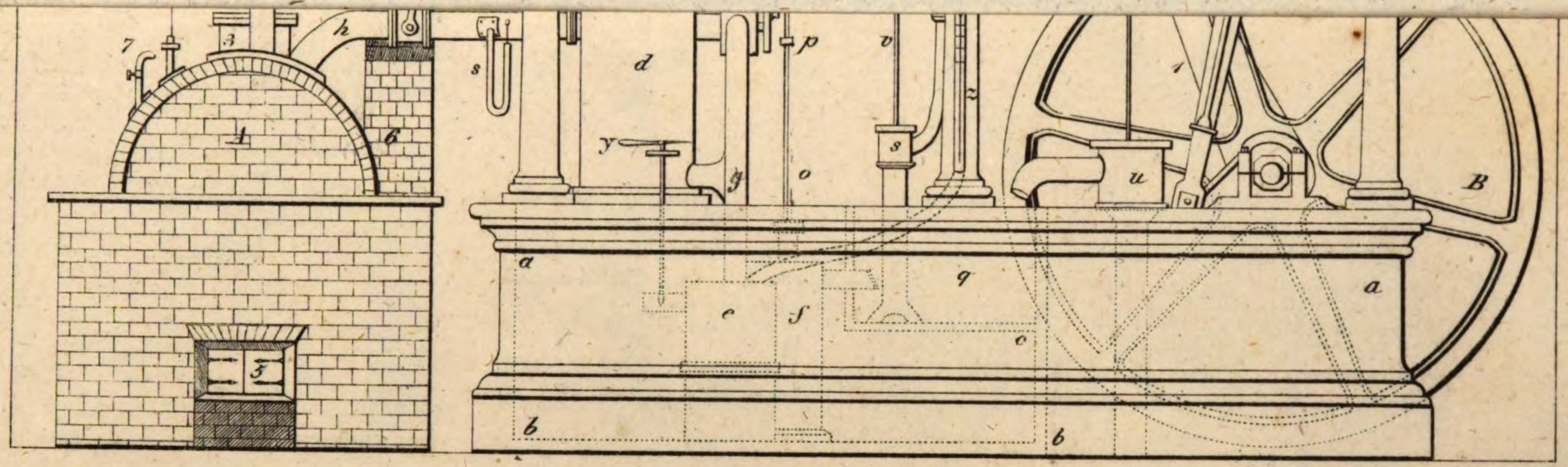


F. 136.



F. 136




7
3
h
s
d
p
v
z
1
A
6
y
g
o
s
u
B
a
q
a
e
f
c
5
b
b

Ms. p. 205. b.

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Millington, John

Grundriß der theoretischen und Experimental-Physik

Bd.: 1

Weimar 1825

Phys.g. 294 m-1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10131575-3